Consultative Document / Document de consultation

Atomic Energy Control Board / Commission de contrôle de l'énergie atomique

CONSULTATIVE DOCUMENT C-78

Proposed Regulatory Guide

LIMITATION OF EXPOSURE TO IONIZING RADIATION - Explanatory Notes Relating to a Proposed Amendment of the Atomic Energy Control Regulations

Issued for comment:

November 14, 1983

Canada

This Consultative Document is issued in order to provide an opportunity for public review of the proposal it contains before formal issue as a Regulatory Document. Comments are encouraged and should be directed to the address below before MARCH 14, 1984.

Unless otherwise requested by the submittor, a copy of all comments received will be placed in the AECB public documents room.

Direct comments to:

Regulations Development Section
Atomic Energy Control Board
P.O. Box 1046
Ottawa, Ontario
CANADA
K1P 5S9

NOTE: The proposed amendments to the Atomic Energy Control Regulations have been published separately, as Consultative Document C-47. Copies are available from the Atomic Energy Control Board.

THE AECB REGULATORY DOCUMENTS SYSTEM

1. Siting, design, manufacture, construction, commissioning, operation, and decommissioning of nuclear facilities, or the production, possession, use and disposal of prescribed substances, in Canada or under Canadian control, are subject to the provisions of the Atomic Energy Control Act and Regulations administered by the Atomic Energy Control Board (AECB).

2. In addition to the Atomic Energy Control Regulations, three other categories of Regulatory Document are employed by the AECB. These are:

   Generic Licence Conditions - standard sets of conditions that are included in particular AECB licences of a common type, unless specific circumstances indicate otherwise;

   Regulatory Policy Statements - firm expressions that particular "requirements" not expressed as Regulations or Licence Conditions be complied with or that any requirements be met in a particular manner but where the AECB retains the discretion to allow deviations or to consider alternative means of attaining the same objectives where a satisfactory case is made; and

   Regulatory Guides - guidance or advice on any aspect of the AECB's regulatory process that is given in a manner less rigid than that intended by Policy Statements.

3. In developing Regulatory Documents, the AECB publishes its proposals as Consultative Documents in order to solicit comments both from the nuclear industry and from the public. This is done prior to releasing any Regulatory Document in final form. In certain cases, after the period for public comment, a Consultative Document may be issued for "trial use". This is done for a limited period of time to gain practical experience. Following the period of trial use, the revised document is re-issued for further public comment prior to release in final form.

4. Comments on Consultative Documents and suggestions for new Regulatory Documents and for improvement to those that exist are encouraged and should be directed to the Regulations Development Section of the AECB.

5. Copies of Consultative Documents, Regulatory Documents and related index lists are available in both English and French on request from the Office of Public Information. Requests for technical information on and interpretation of documents should be addressed to this office.

6. The Atomic Energy Control Board may be contacted as follows:

Postal address: Atomic Energy Control Board
P.O. Box 1046
Ottawa, Ontario
CANADA
K1P 5S9

Telephone
General Inquiries: (613) 995-5894

CONTENTS

		PAGE
1.	Introduction	1
2.	All doses shall be as low as reasonably achievable	1
3.	Atomic radiation workers and members of the public	4
	3.1 Prohibitions on employment as an atomic radiation worker	6
4.	Dose and intake limits	
	4.1 The new limits and comparison with previous limits	7
	4.2 Averaging the dose in the event of non-uniform exposure	12
	4.3 Advantages of the effective dose equivalent and implications on dose limitation for individual organs	13
	4.4 Intake limits, including limits for radon and thoron daughters	
	4.4.1 General	15
	4.4.2 Basis of intake limits for radon and thoron daughters	18
	4.5 Special considerations for women of reproductive capacity	22
	4.6 Dose Rate Limit for pregnant women	24
	4.7 Planned special exposure in excess of normal limits	25
	4.8 Exemptions from dose limits	26
5.	Procedures for determining doses and intakes	
	5.1 What doses and intakes should be determined?	27
	5.2 For whom should dose and intake assessments be made?	
	5.2.1 for atomic radiation workers	28
	5.2.2 for members of the public	28
	5.3 How should doses and intakes be determined?	28
	5.3.1 Determination of doses and intakes for atomic radiation workers and selected members of the public	29
	5.3.2 Dose determination for members of the general public	30
6.	Action if dose limit exceeded	31
7.	Determining what dose level is as low as reasonably achievable	34

APPENDICES

1.	Risk estimates, acceptable risk and dose limits	A1
2.	Conversion from radon daughter "exposure" to "intake"	A4
3.	Glossary of terms	A6
4.	References and Notes	A19

LIMITATION OF EXPOSURE TO IONIZING RADIATION

Explanatory Notes Relating to a Proposed Amendment of the Atomic Energy Control Regulations

1. INTRODUCTION

The Atomic Energy Control Board (AECB) proposes to amend the Atomic Energy Control Regulations (1) in light of the latest recommendations of the "International Commission on Radiological Protection" (ICRP). (2,3) Many of the radiation protection procedures required for the implementation of the regulations depend on the circumstances peculiar to each operation and therefore cannot be included in general regulations. Guidance on how the AECB would apply its proposed amended regulations is therefore provided in this document, which also explains the more important changes from the present regulations.

The most basic change from the present regulations is the introduction of the concept of "effective dose equivalent". This new concept, as well as associated changes in dose limits compared with the present limits, are explained in section 4 of this document. Another important addition to the regulations is a requirement to keep doses of radiation as low as reasonably achievable, as discussed in sections 2 and 7.

A glossary of terms is appended, and many of the terms defined in the glossary are placed in quotation marks in the text.

2. ALL DOSES SHALL BE AS LOW AS REASONABLY ACHIEVABLE

Exposure to "ionizing radiation" can result in various types of injury, some of which (the so-called "non-stochastic effects") will not occur unless the dose of radiation is much greater than the "regulatory limits". However, some other types of injury, called "stochastic effects", might occur even at doses below the regulatory limits; in fact, it is generally assumed that any dose of radiation is potentially capable of producing stochastic effects. The probability that a harmful "stochastic" effect will occur depends on the dose received; the smaller the dose the less the chance of it causing harm. Consequently, it is desirable to avoid unnecessary exposures to radiation and to keep doses from any necessary exposures as low as reasonably achievable. The

intention of keeping doses "reasonably low" has been expressed differently by various authors, and various ICRP publications have included the following expressions: "the lowest possible level", "as low as practicable", "as low as readily achievable", and, most recently, "as low as reasonably achievable". (4) In order to be consistent with the terminology in current use throughout the radiation protection community, the latest ICRP expression, "as low as reasonably achievable" has been used in subsection 19.(2) of the proposed regulations:

> "Every licensee shall establish, implement and maintain procedures designed to maintain doses of radiation as low as reasonably achievable, social and economic factors being taken into account."

This principle has long been applied in one form or another by the AECB, but has never been included in the regulations, largely because of the difficulty of expressing it in unambiguous regulatory language. It is now considered desirable to include this fundamental principle in the regulations despite the difficulties of interpretation. Some guidance as to how the AECB will judge what level of dose is as low as reasonably achievable in any given situation is given in this document. It is recognized, however, that additional guidance will have to be provided after completion of this proposed revision of the regulations.

The "social and economic factors" to be taken into account include the costs of reducing the doses from a given level to a lower level, bearing in mind the expenditures that are generally made for reducing a unit of occupational or public risk associated with other industrial and social activities. Factors such as the possible loss of employment if doses had to be reduced to such low levels that an operation had to be discontinued should also be considered. Regardless of economic and social considerations, however, it is mandatory that no person be exposed in excess of the regulatory dose limits.

The requirement to keep doses as low as reasonably achievable is often taken to mean that every person's dose should be kept as far as reasonably achievable below the relevant dose limits, but in some circumstances a smaller "collective dose" could be achieved if a few persons received doses close to the limit than if a disproportionately large number of persons received smaller doses. Provided that the dose limits are observed, the optimum radiation protection alternative is generally considered to be the one that results in the smallest "collective dose" that can be achieved at a reasonable cost, because this

results in the smallest collective health risk (or "detriment") to the exposed group.

In practice, both individual and collective doses should be considered when deciding what levels of dose are as low as reasonably achievable for a given operation. Efforts devoted solely to minimizing collective dose could result in some workers approaching dose limits early in the dosimetry year, whereas operational needs and manpower planning considerations might require that the doses of all workers be kept well below the limits early in the year in order that additional dose could be received during necessary work with radiation during the remainder of the year.

The design and operating procedures for keeping doses as low as reasonably achievable vary, depending on the circumstances, and are generally reviewed by AECB staff as part of the licensing procedure. The greater the potential for reducing individual and collective doses through good design and operating procedures, the greater the likelihood of a licensee (or an applicant for a license) being asked to submit its procedures for formal approval, pursuant to subsections 19.(3) to (7) of the proposed regulations:

"(3) The Board may from time to time request in writing any licensee or applicant for a license to submit in writing to the Board a proposal that describes the procedures established or to be established by that person for the purpose of complying with subsection (2).

(4) A person to whom a request is addressed pursuant to subsection (3) shall deliver his proposal to the Board within 10 days of the date of the request.

(5) After receiving a proposal referred to in subsection (3) the Board shall consider the matter to determine whether or not the procedures proposed adequately or will adequately enable the person who submitted the proposal to maintain doses of radiation as low as reasonably achievable, social and economic factors being taken into account, and may

(a) approve the proposal; or

(b) subject to subsection (6), reject the proposal and require the submission of a new proposal.

(6) Where the Board has approved a proposal pursuant to subsection (4), the person who submitted the proposal shall forthwith, if a licensee or immediately upon issuance of a licence, if an applicant for a

licence, establish, implement and maintain the procedures referred to in the approved proposal until a new proposal is approved by the Board.

(7) Where the Board intends to reject a proposal submitted pursuant to subsection (2) the Board shall notify in writing the person who submitted the proposal of the intended action and the reasons therefor and shall, if requested to do so within 15 days after service of the written notification, grant the person a reasonable opportunity to be heard."

Other considerations involved in the determination of the dose levels that are as low as reasonably achievable in any particular circumstance are discussed in section 7 of this document.

3. ATOMIC RADIATION WORKERS AND MEMBERS OF THE PUBLIC

Persons whose work necessarily involves significant exposure to radiation (potentially greater than 10% of an occupational dose limit) are considered as "atomic radiation workers" as a means of ensuring that they receive appropriate surveillance and protection (including monitoring, training, protective clothing and special control procedures).

Other persons who work on or near premises where sources of radiation are present might be exposed incidentally to radiation, but if the exposure is not an essential requirement of their work, they should not be considered as "atomic radiation workers" and their exposures must be controlled such that the dose limits for "members of the public" (which are 10% of the limits for atomic radiation workers) are not exceeded. Although such incidental exposure of workers to radiation is, strictly speaking, occupational exposure, the term "occupational exposure" is usually used in the sense of occupational exposure of atomic radiation workers.

The new definition in the proposed regulations is:

"atomic radiation worker" means any person who, as an essential requirement of his work, business, or occupation, could, in the course of that work, business, or occupation, receive a dose of radiation in excess of any dose limit specified in Part 2 of Schedule II". (The nature of "Part 2 of Schedule II" is indicated later, in section 4.1.)

This definition applies only to persons exposed to ionizing radiation produced by radioactive prescribed substances and nuclear facilities; i.e., by sources of radiation that are within the jurisdiction of the AECB. This restriction on the application of the definition "atomic radiation worker" is not obvious from the definition itself, but is inherent in the regulatory definition of "radiation".

Two changes are proposed from the definition in the present regulations in order to clarify the intent:

i) "an essential requirement of his work" has been added so as to exclude from the atomic radiation worker classification those persons who are exposed to radiation only incidentally, due to a poorly located workplace or poor control procedures for example (the doses to such persons being controlled within the limits for members of the public);

ii) "could receive a dose" has been substituted for "is likely to receive a dose" because many persons properly classified as atomic radiation workers do not normally receive a dose in excess of a limit in Part 2 (i.e. they usually do not receive more than 10% of a dose limit for atomic radiation workers). However, if it is an essential requirement of a person's work that he or she could reasonably be expected to receive such a higher dose if necessary, due to abnormal operations for example, then that person should be considered to be an atomic radiation worker. Borderline cases will be encountered in practice where it is not entirely clear whether or not a person should be considered to be an atomic radiation worker. The decision in such cases should be made through consultation between the licensee and the AECB staff.

Section 17 of the proposed regulations places the following obligations on employers of atomic radiation workers, and extends the obligations to licensees as well, and subsection 19.1 places an obligation on pregnant workers:

17.(1) "Any person who employs an atomic radiation worker shall:

(a) forthwith inform that worker that he is an atomic radiation worker within the meaning of these Regulations;

(b) if that worker is a woman, inform her of the obligation imposed upon her in section 19.1;

(c) maintain a current list of all atomic radiation workers in his employ, and

(d) submit the list referred to in paragraph (c), or a copy thereof,

to any inspector who so requests." (The "inspector" is any person appointed as such pursuant to the Atomic Energy Control Regulations.)

(2) "Any person who employs an atomic radiation worker shall forthwith inform that worker of the risks associated with exposure to radiation, including the risks to embryos and foetuses."

19.1 "Every woman who is an atomic radiation worker shall, upon learning that she is pregnant, forthwith inform her employer of her pregnancy."

Subsection 17.(1) is intended to ensure that any atomic radiation worker is made aware that he or she is an atomic radiation worker, and it is implicit in this requirement that the employer must ensure that his atomic radiation worker employees are adequately informed of any relevant radiation protection procedures. However, all the atomic radiation workers who could be exposed to radiation as a result of a licensee's operations are not necessarily employed by that licensee (contractor's employees for example). Since the licensee has the ultimate control over all exposures arising from his operations, subsection 17.(3) extends the obligation on the employer specified in 17.(1) to the licensee as well:

17.(3) "For purposes of this section, an atomic radiation worker who, in the course of his work, business, or occupation could receive a dose of radiation in excess of any dose limit specified in Part 2 of Schedule II as a result of a licensee's use or possession of a prescribed substance or operation of a nuclear facility shall be deemed to be employed by that licensee."

3.1 Prohibitions on Employment as an Atomic Radiation Worker

The present regulations include a prohibition against employing anyone less than eighteen years of age as an atomic radiation worker. It is proposed to delete this prohibition because it places unnecessary restrictions on students and apprentices undergoing training in preparation for work in a radiation industry.

Another prohibition on employment in the present regulations applies to persons "whose health or radiation exposure record is such that.... he should not be employed as an atomic radiation worker". It is proposed to delete this prohibition because it is impossible to specify an unambiguous and fair set of

criteria under which the prohibition would come into force.

A third prohibition in previous regulations related to a person's qualifications. This should be deleted because it can be better dealt with as part of the AECB's regular licensing and compliance activities.

4. DOSE AND INTAKE LIMITS

4.1 The New Limits and Comparison with Previous Limits

The proposed new dose limits are expressed in "millisieverts" (mSv) instead of in "rems" as in the present regulations, in accord with the Canadian government policy of converting to "S.I." units. The basic unit, the "sievert" (which equals 100 rems), is too large for use in normal radiation protection activities and so the dose limits are expressed in millisieverts.

The most fundamental change is that the tables of "maximum permissible doses and exposures" specified in the present regulations for the various organs and tissues of the body are replaced by single limits on "effective dose equivalent" (50 mSv per year for atomic radiation workers and 5 mSv per year for members of the public) plus limits for the "dose equivalent" to individual organs and tissues (150 mSv per year for the eye lens and 500 mSv per year for other organs and tissues for atomic radiation workers, and one-tenth of these values for members of the public except for the eye lens for which the annual limit is 50 mSv). These limits apply to the total dose received from external sources of radiation plus the "committed dose" from radioactive substances taken into the body during the "dosimetry year" in question (the committed dose being the total dose accumulated from a radioactive substance in the body during the fifty years following the intake of that substance). It has been specified in previous regulations that the contribution from sources of radiation inside the body be included when determining the dose, but the regulations are not clear as to whether the limit applies only to the dose received during the dosimetry period in question, or whether it applies to the total dose including the dose eventually received from radioactive substances remaining in the body beyond the year of intake. The proposed regulations require that the committed dose be considered when designing and planning dose control equipment and procedures, but not necessarily for dose record purposes nor when considering exposure restrictions for persons whose committed dose exceeds a regulatory limit.

(Exposure restrictions are discussed further in section 6.)

The new limits are prescribed by subsection 19.(1) of the proposed regulations, as follows:

"19.(1) Every licensee shall

(a) limit the dose of radiation received by any atomic radiation worker as a result of the licensee's use or possession of a prescribed substance or operation of nuclear facility to the dose limits specified in Part 1 of Schedule II;

(b) with respect to any person who is not an atomic radiation worker, limit the dose of radiation received by that person as a result of the licensee's use or possession of a prescribed substance or operation of a nuclear facility to the dose limits specified in Part 2 of Schedule II".

The dose limits specified for atomic radiation workers in Part 1 of Schedule II are as follows:

"1. The effective dose equivalent received during a dosimetry year from external sources of radiation(1) plus the committed effective dose equivalent(2,3) from all prescribed substances that enter the body during that year shall not exceed 50 mSv.

2. The dose equivalent received by any organ or tissue(4) during a dosimetry year from external sources of radiation plus the committed dose equivalent(2,3) to that organ or tissue from all prescribed substances that enter the body during that year shall not exceed

(a) for the lens of the eye, 150 mSv; or

(b) for any other organ or tissue, 500 mSv.

Additional Dose Limits for Pregnant Women

The dose equivalent to the embryo or foetus shall be limited during the time pregnancy is known to the licensee to 0.6 mSv in any two week period."

The dose limits specified in Part 2 of Schedule II for persons who are not atomic radiation workers are as follows:

"The dose limits shall be one tenth the limits specified in Part 1 for atomic radiation workers except that the dose equivalent to the lens of the eye shall be limited to 50 mSv."

The four notes referred to in Part 1 of Schedule II (quoted above) refer to:

1) the determination for regulatory purposes of the effective dose equivalent from external sources of radiation, which is discussed in the following paragraph;
2) the determination for regulatory purposes of the "committed effective dose equivalent" and the "committed dose equivalent" from a radioactive substance taken into the body, by means of a calculation based on the "annual limit on intake", which is discussed later in section 4.4 of this document;
3) the definitions of annual limit on intake for atomic radiation workers and others, as well as intake limits for radon and thoron daughters, which are discussed in section 4.4; and
4) the area of skin to be considered when applying the dose limits, which is discussed in section 4.2.

When a person is exposed to an external source of radiation, all organs and tissues usually do not receive exactly equal doses and it is generally not practical to determine the exact distribution of dose within the body. Consequently, it is generally not practical to make a rigorous determination of the effective dose equivalent, which would require the addition of the "weighted dose equivalents" to the individual organs and tissues. Instead, the dose equivalent as determined from the reading of a dosimeter which has been calibrated in accord with an AECB-approved procedure is taken as representative of the effective dose equivalent. This is provided for in note (1) to Schedule II:

> "the effective dose equivalent from external sources of radiation is deemed to be equivalent to the dose equivalent to the body as determined by procedures that have been approved by the Board".

The "dose equivalent" and "effective dose equivalent" from radioactive substances in the body can often be determined from "bioassay" measurements, but must sometimes be determined from the estimated "exposure" or "intake". The limitation of intakes, including the intake of radon daughters, is provided for in Schedule II, as discussed later in section 4.4 of this document.

The reason for limiting the "effective dose equivalent" is to limit the chance of "stochastic effects" (cancer and genetic effects). The basis of the 50 mSv limiting value is explained in Appendix 1 of this document.

The reason for limiting the "dose equivalent" is to prevent "non-stochastic effects", which is accomplished by limiting the dose equivalent to the individual organs and tissues of the body to a small fraction of the "threshold dose" (the dose below which non-stochastic effects will not occur, and above which they will occur if the threshold dose is received in a short time but not if it is spread over a period of years). The threshold dose is different for different tissues and different effects, being approximately 10 to 40 times higher than the dose limits for atomic radiation workers and 100 to 400 times higher than the limits for members of the public. The non-stochastic limits are necessary for two reasons:

1) to limit the "dose equivalent" in those organs and tissues that are not considered when applying the limit on "effective dose equivalent"; i.e., the skin, eyes, extremities, and any other organ or tissue for which a weighting factor is not specified and which is not amongst the "five other organs or tissues receiving the highest dose equivalent"; (the list of weighting factors is included in the glossary;)

2) to limit the dose equivalents to those organs and tissues which have weighting factors less than 0.1. The risk of radiation-induced fatal cancer in these organs and tissues is so low that an annual dose equivalent greater than 500 mSv would be permitted under the effective dose equivalent concept, but it is considered prudent to impose an overriding limit of 500 mSv per year in order to keep doses well below the threshold for non-stochastic effects.

Since adherence to the non-stochastic limit for occupational exposure will prevent the occurrence of non-stochastic effects for members of the public as well as workers, there is little justification for a lower limit for the public. Nevertheless a ten-fold lower non-stochastic limit has been specified for the public, primarily for purposes of consistency with the stochastic limit for the public which is one-tenth of the stochastic limit for occupational exposure.

The new limit for the <u>skin</u> and the <u>extremities</u> (which are covered by the 500 mSv annual limit specified in Schedule II for "any other organ or tissue") represents an increase of about 70% in the limit for the skin and a decrease of about 30% in the limit for the extremities compared with the present regulations. The reason for these changes is simply to be consistent with the non-stochastic limit for all other organs and tissues (other than the eye lenses). The risk of fatal skin cancer is negligible compared with the risk of

fatal cancer in other organs, and this is the reason that no weighting factor for the skin is specified for purposes of determining the effective dose equivalent. (If a weighting factor is needed for assessing the "detriment" from exposure of the skin, the appropriate value is 0.01 as specified in reference 2a.)

When applying the dose limits, all doses of radiation received in a given year by a person as a result of employment as an "atomic radiation worker" must be included, as specified in subsection 19.(8) of the proposed regulations. The intent is to ensure that the total occupational dose received by persons who change employment during a given year is kept within the regulatory limits. It is recognized, however, that it might not always be possible for a licensee to obtain a person's dose record from a previous employer for the year in question. Since there is there is no desire to penalize a licensee if one of his workers exceeds a dose limit due to exposure from the operations of a different licensee from whom he has been unable to obtain a dose record, subsection 19.(9) specifies that no licensee shall be held to have breached the regulations "if he had no reasonable way of ascertaining the dose of radiation received by an atomic radiation worker prior to the time when" that worker become employed by that licensee.

In principle, any occupational exposure to X-rays should also be included in the dose records of atomic radiation workers, but since X-rays (other than those produced by nuclear facilities or radioactive prescribed substances) are not under the jurisdiction of the AECB (being regulated instead by the provinces), they are not mentioned in the Atomic Energy Control Regulations. In practice, occupational exposure to both X-rays and other types of ionizing radiation in a given dosimetry year is not very common and no problem of excessive doses due to large exposures to both categories of radiation has occurred. However, this could become a problem in radiography operations, for example, and if it does, then additional regulatory means of remedying the problem will be considered.

Only annual dose limits are specified in the proposed regulations (other than for pregnant women) whereas quarterly limits as well are specified in the present regulations with respect to the exposure of atomic radiation workers. The reason for the deletion of the quarterly limits is that these limits are based more on operational control considerations than on health risk, there being no significant difference in the biological effect of a dose the size of

the annual dose limit whether it is received all at once or spread over a year. Nevertheless, a large fraction of an annual dose limit received in a short time could be indicative of poor practices or breakdown of control procedures and therefore could be subject to investigation as part of the regulatory licensing and compliance processes.

4.2 Averaging the Dose in the Event of Non-Uniform Exposure

The dose limits generally apply to the average dose to the relevant organs and tissues of the body, which is appropriate as long as the distribution of dose in any given organ or tissue is fairly uniform. When the whole body or skin is irradiated more-or-less uniformly, as when the body is exposed to a general field of gamma radiation or the skin to a general field of beta or gamma radiation, it is generally appropriate to take the readings of a personal dosimeter that has been calibrated according to an AECB-approved procedure as indicative of the dose to the whole body or the entire skin, respectively. In the event of substantially non-uniform exposure, however, special consideration has to be given to the exposure circumstances.

The skin is one organ that is often irradiated very non-uniformly; in such cases the dose limit should be applied to the portion of the skin that receives the highest dose, as specified in note (4) to Schedule II of the proposed revision:

> "The dose limit for the skin applies to the basal cell layer of the epidermis. If the skin is irradiated non-uniformly, the dose limit applies
> (a) to the average dose to 100 cm^2 of skin in the area receiving the highest dose, or
> (b) if the irradiated area of skin is substantially less than 100 cm^2, to the average dose to 1 cm^2 of skin in the area receiving the highest dose."

For irradiation of areas substantially less than 1 cm^2, the limit has less relevance, and for very intense exposure of a very small area, the primary concern is to assess the possibility of local skin damage and to obtain appropriate medical attention.

The head may be exposed in some circumstances to a greater extent than the rest of the body, however, in most cases it is appropriate for purposes of dose control and compliance with the dose limits to consider exposures of the head as

if they were whole-body exposures. If, however, the head was to be regularly exposed to a significantly greater extent than the rest of the body, a limit could be derived based on the effective dose equivalent concept (i.e., based on the principle of limiting the risk of stochastic effects to the head to the same extent that the risk to the whole body is limited by application of the 50 mSv annual limit). The stochastic risk to a tissue is more-or-less proportional to the fraction of the tissue irradiated, and since the head contains only a fraction of the body's bone and bone marrow, only a fraction of the respective weighting factors should be used when calculating the effective dose equivalent. Taking 10% of the weighting factors for bone surfaces and red bone marrow (1/10 of 0.03 + 0.12) and adding the weighting factors for the thyroid and any five other organs or tissues in the head (0.03 + 5 x 0.06) results in a weighting factor for the head of 0.345. (These weighting factors and the concept of "five other organs" are taken from the table under the definition of "weighting factor" in the glossary.) Dividing the composite weighting factor of 0.345 into the effective dose equivalent limit of 50 mSv a^{-1} yields a dose equivalent limit for the head of nearly 150 mSv a^{-1} (or about equal to the non-stochastic limit for the eye lenses).

4.3 Advantages of the Effective Dose Equivalent and Implications on Dose Limitation for Individual Organs

The fundamental advantage of setting the basic dose limit in terms of effective dose equivalent is that this restricts exposures to radiation such that the risk of "stochastic effects" is limited to the same extent regardless of the distribution of dose in the body. A shortcoming of the previous dose limits for the various organs and tissues is that they were developed piecemeal and somewhat arbitrarily over a period of years, resulting in different degrees of health risk associated with the limits for different organs and tissues. Another shortcoming is that these limits were based on limiting the dose to the "critical organ" (which was usually the organ or tissue receiving the highest dose) and thereby focused attention on whichever organ or tissue received the highest fraction of its dose limit, with insufficient attention to the doses received by other organs and tissues. Both of these shortcomings are overcome with the effective dose equivalent approach which (1), weights the dose equivalents to individual organs and tissues to account for the susceptibilities of those organs and tissues to radiation-induced stochastic effects (using the weighting factors listed in the glossary); and (2), limits the effective dose

value, namely, 50 mSv per year for atomic radiation workers and one-tenth as much for members of the public.

Other advantages of the effective dose equivalent approach are that it provides an improved method for assessing the overall significance of releases of mixtures of radioactive substances to the environment; and it also provides for more consistent limitation of the doses received by uranium miners, uranium fuel fabricators and other persons who are regularly exposed to both internal and external sources of radiation.

One consequence of using the effective dose equivalent approach along with the same whole-body dose limit as in the present regulations (50 mSv a^{-1} for atomic radiation workers) is that individual organs and tissues could in principle receive a larger dose than permitted by the present regulations. Although "stochastic limits" for individual organs and tissues are not specified in the proposed regulations, they can be derived by dividing the limit for effective dose equivalent by the appropriate "weighting factor". These derived stochastic limits and the overriding "non-stochastic limits" for individual organs and tissues are higher than the dose limits specified in the present regulations, except for the occupational limit for the lens of the eye which is unchanged. (The limit for the whole body is also unchanged, its dose equivalent limit being numerically equal to the effective dose equivalent limit because its weighting factor is 1.0, which is the sum of the weighting factors for the individual organs and tissues.) In practice, exposure of single organs or tissues rarely occurs alone and, since the effective dose equivalent concept requires the limitation of the sum of the weighted dose equivalents from all significant sources of exposure, the dose equivalent to an individual organ or tissue would in most cases not be allowed to reach its respective "derived limit". In fact, the requirement to limit the sum of the "weighted doses" from all significant sources would limit the doses in many operations to lower values than permitted by the present regulations.

If the lungs were to be irradiated alone, the annual dose equivalent limit would be 420 mSv (50 mSv divided by a weighting factor of 0.12) which is an increase from 15 rems (150 mSv) in the present regulations. However, the only occupations where significant irradiation of the lungs occurs routinely are uranium fuel fabrication and uranium mining and milling, and the lung doses in these occupations could generally not be allowed to reach the limit because of

concurrent exposure of the whole body to gamma radiation. Moreover, the lung dose in these occupations is primarily from inhaled alpha-emitting substances, and the "quality factor" now recommended by the ICRP for alpha radiation is 20 (compared to 10 previously). (2) Consequently, although the new dose limit derived for lungs is nearly three times higher than previously, the two-fold increase in quality factor results in a two-fold reduction in the "intake limit" (see section 4.4) for alpha-emitting substances. The net effect of these two changes would be a 40% increase in the intake limits for alpha-emitting substances. Exposure of the lungs in mining is due mainly to the inhalation of radon and thoron daughters, which are controlled by limiting the intake as explained in section 4.4.

4.4 Intake Limits, Including Limits for Radon and Thoron Daughters

4.4.1 General

The radiation dose received from radioactive substances that enter the body in air, water or food is generally restricted by limiting the amount of such substances that enter the body to the "annual limit on intake" (ALI). The dose received can then sometimes be determined from measurements of radioactive substances in excreta (usually urine) or from measurements of radiation emitted from the body by means of radiation detectors outside the body. It is not always feasible to determine the dose by such measurements, however, and in such cases the dose may be determined by comparing the estimated intake with the ALI.

Two basic types of ALI are specified: one to limit "stochastic effects", and one to prevent "non-stochastic effects". For each basic type of ALI, different values apply for "atomic radiation workers" and "members of the public", and different values apply for intake by inhalation and by ingestion. The ALI values that are intended to limit "stochastic effects" are the amounts of radioactive substance taken into the body that will result in a committed effective dose equivalent of 50 mSv or 5 mSv (for atomic radiation workers or members of the public, respectively). The ALI values that are intended to prevent "non-stochastic effects" are the amounts of substance taken into the body that will result in a committed dose equivalent to an organ or tissue of 500 mSv or 50 mSv (for atomic radiation workers or members of the public, respectively).

The ALI values for atomic radiation workers for intakes by ingestion are useful as reference points (for dose calculations, for example), but intake by ingestion of a full ALI would generally not be allowed in practice. The principal pathways for ingestion of radioactive substances are via food and drinking water, and there is generally no reason why either food or drinking water should be contaminated to the extent that a worker could ingest a substantial fraction of the occupational ALI value.

One of the more common uses of the ALI concept in occupational radiation protection is to limit the dose received by uranium mine workers due to the inhalation of "radon or thoron daughters". This is generally done by restricting the "exposure", which is the concentration of radon daughters in air multiplied by the duration of exposure. In fact, "maximum permissible exposures" for radon daughters are specified in the present regulations (1), although it is now proposed to replace these with intake limits. Exposure limits and intake limits are essentially equivalent in practice, but the limitation of intake is a more fundamental concept in that the dose (which is the quantity of primary interest) is directly proportional to the intake whereas the direct relationship between dose and exposure depends on the assumption of a standard breathing rate. The use of intake limits is provided for in note (2) of Schedule II of the proposed regulations:

> "if it is impractical to measure or calculate the committed effective dose equivalent or the committed dose equivalent contributed by a prescribed substance taken into the body from measurements of radiation from the body or excreta, the committed effective dose equivalent or the committed dose equivalent attributable to that prescribed substance shall be the ratio of the intake of that prescribed substance during the dosimetry year and the appropriate annual limit on intake for that prescribed substance multiplied by
>
> (a) in the case of the committed effective dose equivalent, 50 mSv for atomic radiation workers, or 5 mSv for persons who are not atomic radiation workers; and
>
> (b) in the case of the committed dose equivalent to an organ or tissue, 500 mSv for atomic radiation workers, or 50 mSv for persons who are not atomic radiation workers."

The annual limits on intake for atomic radiation workers and other persons are defined in note (3) of Schedule II of the proposed regulations:

"The annual limit on intake for atomic radiation workers is the amount of prescribed substance taken into the body in a dosimetry year that will result in a committed effective dose equivalent of 50 mSv or a committed dose equivalent to an organ or tissue of 500 mSv. In the case of intake of radon and thoron daughters the annual limit shall be 0.02 and 0.06 joule respectively where,

(a) for radon daughters, an exposure of 800 working level hours is deemed equivalent to an intake of 0.02 joule, and

(b) for thoron daughters, an exposure of 2,400 working level hours is deemed equivalent to an intake of 0.06 joule.

The annual limit on intake for persons who are not atomic radiation workers is the amount of prescribed substance taken into the body in a dosimetry year that will result in a committed effective dose equivalent of 5 mSv or a committed dose equivalent to an organ or tissue of 50 mSv."

The inclusion of the two ALI definitions in the proposed regulations obviates the need to include the thousands of different ALI values needed for the inhalation and ingestion of radioactive substances by atomic radiation workers and by adult and child members of the public. An exception is made, however, for radon and thoron daughters, because these are generally encountered as mixtures of radionuclides whereas ALI's are normally derived for single radionuclides, expressed in becquerels per year. Instead of determining the amount of each radionuclide inhaled when exposed to a mixture of radon or thoron daughters in air, it is more practical to determine the "potential alpha energy" of the inhaled mixture, which is expressed in "joules" (J). In practice, radon and thoron daughter concentrations are measured in "working levels" (WL) and the duration of exposure is recorded in hours, so "exposure" limits in "working level hours" (WLh) are also included in the proposed regulations. The radon daughter limits in the present regulations are expressed in "working level months" (WLM), but this has caused confusion when comparing occupational exposures with exposures of members of the public, because it was not always clear whether the "month" in question referred to the working month (170 hours) or the calendar month (730 hours per month on average). Consequently, WLh instead of WLM is used in the proposed regulations, where 1 WLM = 170 WLh. The conversions between "intake" and "exposure" are given in Appendix 2.

The ALI values given in ICRP publication 30[5] have been calculated for a

"reference man" and are in accord with the definitions in the proposed regulations relating to atomic radiation workers. These values will therefore usually be appropriate for purposes of determining compliance with the dose limits. One-tenth of these ALI values may be used in most cases for adult members of the public, but smaller fractions are usually necessary for children due to their greater dose per unit intake of many radioactive substances. This one-tenth criterion also applies to the "intake" limits for radon and thoron daughters (e.g., 1/10 of 0.02 Ja^{-1} for radon daughters) but additional modification of the corresponding "exposure" limit would be required to account for the lower average breathing rate of members of the public during their 24-hour-per-day exposure compared to the breathing rate of atomic radiation workers during their 40 hours per week of occupational exposure. (The average breathing rate at home is only about one-half or less of the breathing rate while working because of the time spent sleeping and sitting, when the breathing rate is relatively low.)

A limit on the average annual concentration of radon daughters of 0.02 "working levels" (WL) is specified in the present regulations for members of the public exposed to radon daughters from a nuclear facility. Such a concentration limit is not included in the proposed regulations because it is not needed as long as the one-tenth criterion is applied to the "intake" limit rather than the "exposure" limit.

4.4.2 Basis of Intake Limits for Radon and Thoron Daughters

The 0.02 joule annual limit for radon daughters was determined by considering both the epidemiological studies of lung cancer amongst uranium miners and the radiation dose delivered to the lungs by the inhaled daughters. The calculational methods account for the distribution of dose within the lungs, as well as for the variation in depth of the bronchial cells which is one of the most sensitive parameters. The limit for thoron daughters was determined by comparing the doses to the tissues of the lungs and other organs from a given "potential alpha energy" intake of thoron daughters with the corresponding doses from an equal intake of radon daughters (no epidemiological data being available for thoron daughters). For equal "potential alpha energy" intakes, the "effective dose equivalent" from thoron daughters is only one-third that from radon daughters and therefore the thoron daughter limit is three times the radon daughter limit.(3)

The epidemiological data have been reviewed, with comparable results, by many groups including the AECB's "Advisory Committee on Radiological Protection" (3,6,7,9). The risk factors estimated by various groups are summarized in Table 1. The ICRP has pointed out that the health risk derived from epidemiology, which is usually ascribed to radon daughters alone, in fact also includes the risk contributions from gamma radiation and radon, as well as from the other carcinogens to which uranium miners are exposed. The risks generally ascribed to radon daughters in uranium mines are therefore overestimates of the risk from radon daughters alone. Moreover, the ICRP has noted the low reliability of the exposure data for those miners who died from lung cancer, and pointed out that the actual exposures of individual miners may have been higher than the estimated values used in the epidemiological studies. Consequently, the risk was probably overestimated by the epidemiological studies and the limits derived therefrom are therefore thought to be conservative.(3)

In light of the uncertainties in the exposure data, the ICRP has based its recommended limit for radon daughters on considerations of both epidemiology and the radiation doses delivered to the tissues of the lungs and other organs by the inhaled daughters. The ranges of intake limits that can be derived from dosimetric and epidemiological considerations are shown in Table 2. The ICRP-recommended limit of 0.02 Ja^{-1} is near the upper end of the range of limits derived from the epidemiological data (in accord with the suspected overestimation of the risk per unit exposure) and at the lower end of the range of limits derived from dosimetric considerations. All factors considered, an ALI of 0.02 J for radon daughters appears to be a reasonable equivalent to the 50 mSv limit on effective dose equivalent. It is therefore proposed to include this value in the revised regulations. However, bearing in mind the remaining uncertainties the AECB is keeping this matter under continual review as further biological, epidemiological and other information becomes available.

The 0.02 J limit is equivalent to about 4.7 WLM (as indicated in Table 2) whereas the annual limit in the present regulations is 4.0 WLM. However, the 4.0 WLM limit has been applied independently of exposure to other sources of radiation, whereas the new radon daughter limit is to be applied as part of the "effective dose equivalent" concept, which requires that account be taken of all significant sources of exposure, including gamma radiation, and in some cases thoron daughters and perhaps uranium and thorium dust as well. These differences in application between the present and proposed limits stem from

TABLE 1

RISK FACTORS FOR OCCUPATIONAL EXPOSURE TO RADON DAUGHTERS*

Source	Lifetime** risk per 10^4 WLM
UNSCEAR 1977 (ref. 6)	
based on Czechoslovakian and Swedish data	2 to 4.5
based on USA (Colorado) data	0.7
BEIR 1980 (ref. 8)	2 to 6
ICRP 1981 (ref. 3)	1.5 to 4.5
Thomas & McNeill 1982 (quoted from ref. 9)	0.5 to 12
Subcommittee on Risk Estimates (ref. 9)	1 to 6

* adapted from reference 9
** Lifetime risk = risk per year per 10^4 person-WLM x 30 years

TABLE 2

RADON DAUGHTER LIMITS CORRESPONDING TO AN EFFECTIVE DOSE EQUIVALENT OF 50 mSv

Basis of Limit	Annual Limit on Intake*	Annual Limit on Exposure **	
	JOULES	WLM	WLh
Epidemiology	0.0075 to 0.023	1.8 to 5.4	300 to 920
Weighted dose equivalent to bronchial tissues***	0.02 to 0.05	4.7 to 12	800 to 2000
Weighted dose equivalent to entire lungs***	0.042 to 0.059	9.9 to 14	1680 to 2360

* From reference 3
** Derived from ALI values in preceding column, using conversion factors from Appendix 2.
*** The weighting factors used in deriving these values were 0.12 for the entire lungs and 0.06 for the bronchial tissues. The quality factor for alpha particles used when calculating the dose equivalent values was 20, which is thought to be a conservative value for irradiation of lung tissues.

their different underlying bases, as well as from differences in radiological conditions between today's well-ventilated mines and the earlier mines in which the subjects of the epidemiological studies were exposed. Although only radon daughters were explicitly considered in these earlier mines, the other sources of radiation (gamma radiation, radon, and uranium and other radioactive substances in ore dust) were nonetheless present and are therefore inherently accounted for by the radon daughter limit when it is applied under conditions similar to those existing in the earlier mines. However, gamma radiation would be only partially accounted for by application of the epidemiology-based radon daughter limit to today's well-ventilated mines because, whereas radon daughters are decreased by ventilation, gamma radiation remains essentially unchanged. Consequently, the ratio of gamma dose rate to radon daughter concentration increases as ventilation is improved. On the other hand, concentrations of airborne uranium would likely have decreased even more than radon daughter concentrations due to improvements in both ventilation and dust-suppression practices, and consequently the application of the epidemiology-based radon daughter limit would more-than account for the dose from inhaled ore dust.

Since the new radon daughter limit recommended by the ICRP is based on considerations of the "effective dose equivalent" as well as epidemiology, there is less justification when applying the new limit in assuming that exposure to other sources of radiation is inherently accounted for. There is consequently a need for greater attention to be given to these other sources. For example, the concentrations of airborne ore dust should be monitored in order to determine the ranges of concentration existing in each mine. The presence of abnormally high concentrations could be cause for taking the dose from ore dust into account when applying the limit on effective dose equivalent. Similarly, if a filter-type respirator is worn, or if mine air is filtered and recirculated, concentrations of radon or thoron could build up to levels that are high enough to warrant consideration when estimating the effective dose equivalent. In the case of gamma radiation, many uranium mine workers receive doses of the order of 10 mSv per year (20% of the limit on effective dose equivalent) and so their exposures to radon daughters would be limited in practice to about 80% of the radon daughter limit, i.e. to about 3.8 WLM (0.8 x 4.7). Factors to consider when deciding the magnitude of each radiation source that is significant enough to be included in the calculation of effective dose equivalent are discussed later, in section 5.1.

4.5 Special Considerations for Women of Reproductive Capacity

Since a woman can be pregnant for several weeks without knowing it, consideration has to be given to the implications for the health of the future child if a woman were to receive a dose of radiation as large as the normal occupational dose limit while unknowingly pregnant. (Once pregnancy is known, a special limit on dose rate is applied, as explained in section 4.6.) Various types of abnormality which occur naturally (malformations, mental retardation and childhood cancer) might also be produced by exposure of an embryo or foetus to radiation. The type of injury and the chance of it occurring depend on the amount of radiation dose received and the stage of pregnancy when received. If a given dose of radiation is received acutely sometime during the period of major "organogenisis" (from two to eight weeks after a woman becomes pregnant), the risk of growth abnormalities will be greater than if an equal dose is spread over the entire period of pregnancy. However, the cancer risk is similar whether a given dose is received acutely or spread over several weeks or months. Since the risk of childhood cancer may be considerably greater than the risk of growth abnormalities, the total risk of abnormalities plus cancer is rather insensitive to dose rate at doses as small as 50 mSv. (10)

It is prudent to assume for radiation protection purposes that an embryo or foetus might be injured at any level of dose, and therefore all reasonable precautions should be taken in order to minimize the exposure of potentially pregnant women to radiation. The approach taken in previous regulations has been to apply special restrictions on dose rate to all women of reproductive capacity, regardless of whether or not a woman has had any reason to believe she could be pregnant. The annual limit of 50mSv (5 rems) has been the same for men and women, but the rate at which this dose may be accumulated during a dosimetry year has been restricted to as greater extent for women than for men in order to limit the maximum dose that could be received during any particular stage of a possible pregnancy. The special restrictions on dose rate have been 0.2 rem (2mSv) per 2 weeks (compared with no bi-weekly limit for men) and 1.3 rems (13mSv) per quarter of a year (compared with 3 rems per quarter for men). There was no special biological significance attached to the bi-weekly limit, it being simply a quantification of a suggestion by the ICRP (2) to control exposures of women of reproductive capacity such that any necessary exposures to radiation are received at an approximately uniform rate. Accordingly, the limit was set by apportioning the annual limit to bi-weekly periods, with 2 weeks being chosen

simply because it is the shortest reporting period commonly used by the major dosimetry services.

An undesirable consequence of the special dose rate restrictions for women is that women have been denied employment in some positions that involve occupational exposure to radiation, on the grounds that the work could involve dose rates in excess of the regulatory limits for women (2mSv/2wk and 13mSv/quarter year). The Canadian Human Rights Commission consequently asked the AECB if the special dose rate restrictions for women are really necessary. The AECB referred the question to its "Medical Advisors" and to its "Advisory Committee on Radiological Protection" (ACRP). Subsequent reviews of the medical and biological evidence, along with other considerations, led to the following conclusions:

i) the probability that an embryo or foetus would be injured by a radiation dose up to a few tens of mSv is in the region of one chance in 10,000 per mSv (1 in 1000 per rem); (10,11)

ii) women have a variety of means for controlling pregnancy and pregnancies amongst working women tend to be planned rather than accidental; the chances of an unplanned pregnancy in a working woman, and of such a pregnancy being undetected for more than about two months, are consequently rather low;

iii) it is most unlikely that a woman would in practice receive a large dose of radiation while unknowingly pregnant; those few licensees whose operations could result in large doses generally apply operational controls which prevent the receipt of a large dose in a short time.

In light of these and other considerations, the group of medical advisors and the ACRP both concluded that the imposition of greater dose rate restrictions for women than for men is unwarranted (unless a woman is known to be pregnant).

In accord with the above conclusions, it is proposed to remove the special dose rate restrictions for women of reproductive capacity (but to retain the restrictions for pregnant women, as explained in section 4.6). One implication of this revision is that it would be possible (though most unlikely in practice) for a potentially pregnant woman to receive a planned exposure as high as the 50mSv annual limit in a single day.

The probability of radiation-induced injury to an embryo or foetus carried by a woman who is each year exposed close to the annual dose limit would be of the order of 1 to 10 chances in a million, taking into account the small chance of being irradiated while unknowingly pregnant. For comparison, at least 9% of all children suffer at some time in their lives from a serious disease or handicap of genetic origin (12), about one-third of these (in at least 3% of all births) being of the same types that can be produced by radiation (10). In other words, the normal expectation of such abnormalities is 30,000 to 90,000 per million live births.

Radiation risks as high as quoted above (1 to 10 chances in a million) are not likely in practice to be experienced by many female atomic radiation workers, whereas the access to a wider range of employment opportunities in radiation work can benefit large numbers of women in general. It has been concluded, therefore, that special dose rate restrictions for all women of reproductive capacity cannot be justified. Taking into account the radiation risk, which is low compared to the other risks of pregnancy, it is considered to be more in keeping with society's present-day attitudes towards the rights and responsibilities of individuals to place the onus on each woman to decide for herself whether or not to avoid exposure to radiation, rather than to impose special regulatory restrictions on all women. In order to be able to make a proper decision, women must be informed by their employers of the risks involved, and this is provided for in the proposed regulations as discussed later under section 4.6.

4.6 Dose Rate Limit for Pregnant Women

The risk resulting from exposure of an embryo or foetus to radiation is the same whether pregnancy is known or not, but in accord with the general human tendency of paying greater attention to recognized risks than to potential risks, it has been the practice to set greater regulatory restrictions for women known to be pregnant than when pregnancy is possible but not known. Since women are generally pregnant for no more than a small fraction of their working lifetimes, a special dose restriction for known periods of pregnancy will generally not interfere unduly with women's career opportunities, and in many cases would be no more burdensome than other restrictions normally applied (voluntarily or otherwise) during pregnancy.

The limit specified in Schedule II of the present regulations for atomic radiation workers known to be pregnant is 1 rem during the known period of pregnancy. It is now proposed to express the limit as 0.6 mSv per two weeks, which could accumulate to 10 mSv (1 rem) in 33 weeks and is therefore essentially equivalent to the previous limit. The value of 0.6 mSv per 2 weeks is derived from the ICRP recommendation that women who are pregnant work only in conditions where the dose is unlikely to exceed 15 mSv per year. (2) The ICRP recommendation refers to the dose to the mother, which, in the case of exposure to an external source of penetrating radiation, is often slightly greater than the dose to the embryo or foetus (which is shielded to some extent by the mother's body). However, the proposed regulation specifies that the limit applies to the embryo or foetus, rather than to the woman's abdomen as in previous regulations. This change is simply to make it clear that the special restriction is intended to provide additional protection for the embryo or foetus rather than the mother. In practice, however, it would usually not be necessary to determine the actual dose to the embryo or foetus; it would instead be generally appropriate to consider the dose to the embryo or foetus as being equal to the dose determined for the mother. However, in the case of exposure to radioactive substances that may enter the body, consideration must be given to the possibility of a substantially greater dose to the organs or tissues of an embryo or foetus than to the mother.

Both workers and employers have responsibilities for health and safety in the workplace, and employers should inform their employees of the occupational risks involved and should control work assignments as necessary in the interests of health and safety. A pregnant woman has an additional responsibility to her unborn child and should inform her employer of her pregnancy so that the employer may alter her work assignments or otherwise assist her in minimizing the exposure of her embryo or foetus to radiation. These requirements are provided for in sections 17 and 19 of the proposed regulations, which have been reproduced in section 3 of this document.

4.7 Planned Special Exposure in Excess of Normal Limits

Section 19.4 of the proposed regulations provides for the AECB, in response to an application made in advance, to permit an atomic radiation worker to accumulate in any year a radiation dose up to twice any of the normal annual dose limits. However, the AECB shall not issue such a permission unless:

"(a) under extraordinary circumstances where no appropriate alternative is available; and

(b) the atomic radiation worker has been informed of the implications of the permission and has consented in writing to the permission being granted."

Part (b) is a new provision. Although the additional risk to health that would result from receiving a dose that is twice the normal limit is not very large, it is nevertheless greater than normally permitted and therefore should not be allowed without the informed consent of the person involved. The present regulations specifically exclude women of reproductive capacity from receiving such planned higher doses, if to the whole body or abdomen. Although it is proposed to delete this clause, in practice any woman who might be concerned about being unknowingly pregnant could decide not to consent to allow herself to be subjected to a planned exposure in excess of the normal limits.

4.8 Exemptions From Dose Limits

Section 19.5 of the proposed regulations exempts from the regulatory dose limits doses received by:

"(a) a patient in the course of medical diagnosis or treatment by a medical practitioner;" and

"(b) a person carrying out emergency procedures to prevent serious injury, avert danger to human life or to avert a significant loss of property."

In the case of the patient, the medical practitioner should weigh the radiation risk against the medical benefits. Although he should keep all exposures as low as reasonably achievable, consistent with obtaining the desired result, he should not be prevented by regulation from using any medical procedure that he judges to be in the patient's best interest.

In the case of the person carrying out emergency procedures, the significance of exceeding a dose limit may be completely negligible compared to the benefit of saving a life or preventing injury to another person, or compared to the benefit of preventing the emergency situation from becoming worse or preventing serious loss of valuable material or serious damage to valuable equipment. There is no reference to property in the present regulations, however, many responsible people would take action to prevent a substantial loss of property on their own initiative, as they would to prevent injury or death, and regardless of any

regulation. This fact of life is recognized in the proposed exemption by removing the possibility of suffering a subsequent legal penalty in the event of such an emergency action. However, since the risk of injury or death to the person receiving such an emergency dose of radiation increases with the amount of dose received, any such an emergency exposure should be voluntary and should not be undertaken without first assessing the exposure circumstances and determining that the radiation risk to be assumed is worthwhile compared to the saving of life, limb or property in question.

5. PROCEDURES FOR DETERMINING DOSES AND INTAKES

It is specified in section 19.3 of the proposed regulations that:

"(1) Every licensee shall establish, maintain, and implement procedures for determining the doses of radiation and intakes of prescribed substances received as a result of the licensee's use or possession of a prescribed substance or operation of a nuclear facility.

(2) Every licensee shall notify the Board in writing of the procedures established pursuant to subsection (1) and shall, if directed to do so by the Board, amend the procedures in accordance with the Board's direction.

(3) Every licensee shall maintain and implement any procedures amended pursuant to subsection (2)."

5.1 What Doses and Intakes Should Be Determined?

The smallest doses and intakes that should be determined depend on the exposure circumstances peculiar to each operation, such as:

- the sensitivity of the available measuring techniques, which vary widely for different sources of radiation;
- the exposure rate and the likely accumulation of dose or intake during the dosimetry year; (exposures resulting in doses or intakes that appear insignificant when considered alone may accumulate to significant levels during the year);
- the potential for high doses or intakes; (the greater the potential, the greater the need for routine dose assessment).

In view of these complicating factors, the minimum levels of dose and intake that should be determined by each licensee, as well as the procedures for

limiting and recording the total dose accumulated during a dosimetry year, have to be judged case-by-case as part of the licensing procedure.

5.2 For Whom Should Dose and Intake Assessments Be Made?

5.2.1 For Atomic Radiation Workers

Individual assessments of dose or intake should generally be made for all atomic radiation workers, but not necessarily all the time and not necessarily by individual monitoring; for example:

- when persons work only occasionally in circumstances where the annual dose could exceed 1/10 the annual limit, and when the total dose accumulated during the year is unlikely be a considerable fraction of the annual limit, it could be acceptable to monitor those persons only in those occasional circumstances when the higher doses could be received;
- individual monitoring of exposure is not yet entirely satisfactory for radon and thoron daughters and intake assessment based on measured concentrations and estimated exposure times is an acceptable alternative.

5.2.2 For Members of the Public

It is generally not necessary to monitor the doses and intakes received by individual members of the public. Assurance that doses and intakes are sufficiently small is usually obtained by other means, as discussed below under 5.3.2. In some circumstances, however, individual assessments might be required for some persons who are not atomic radiation workers but who are nevertheless exposed to radiation during their work (either incidentally or as an essential part of their duties). Such individual assessments might be needed in order to demonstrate to the workers, their employer, the licensee or the AECB that the doses and intakes are in fact not in excess of any limit. Individual assessments might also be required for some visitors, contractors or other persons temporarily present on licensees' premises or facilities, depending on their likelihood of receiving a significant dose or intake.

5.3 How Should Doses and Intakes Be Determined?

It is required by subsection 19.3(1) of the proposed regulations that "every

licensee shall establish, maintain, and implement procedures for determining the doses of radiation and intakes of prescribed substances received as a result of the licensee's use or possession of a prescribed substance or operation of a nuclear facility." The procedures required in the case of atomic radiation workers generally relate to the making of individual assessments of the doses or intakes received by each worker, as explained in 5.3.1, below. Individual assessments may also be appropriate for some members of the public who may be exposed to radiation or radioactive substances while working on a licensee's premises but who are nevertheless not atomic radiation workers, as already explained in section 5.2.2. However, assessments of the doses or intakes received by members of the general public are usually made more indirectly, as explained in 5.3.2, below.

5.3.1 Determination of Doses and Intakes For Atomic Radiation Workers and Selected Members of the Public

Individual assessments of doses and intakes are generally made for atomic radiation workers, as well as for certain members of the public who are exposed to radiation or radioactive substances while working on a licensee's premises. Doses from external sources of radiation are usually measured by personal dosimeters, and doses from internal sources are generally determined from bioassay measurements. Intakes are sometimes estimated from the concentrations of radioactive substances measured in air, along with the duration of exposure to those concentrations.

The dosimetry services that any particular licensee must use for purposes of demonstrating to the AECB that the dose limits have been complied with may be provided by the Radiation Protection Bureau of National Health and Welfare, or by an AECB-approved service operated by a private organization, by the licensee, or by another licensee. In approving a dosimetry service, the AECB considers factors such as the following and judges whether or not they are adequate under the given exposure circumstances:

- the design of the dosimeter or other procedures used for assessing the doses or intakes;
- the calibration, testing, recording, reporting, quality assurance and auditing procedures; (for purposes of compliance with the dose limits, dosimeters and procedures should be calibrated in terms of the dose to

the body or to the appropriate organs or tissues);
- the qualifications of the dosimetry staff;
- the organizational arrangements which assure adequate independence of the dosimetry service from operational influences;
- the procedures for taking account of the combined doses and intakes from multiple sources of exposure;
- any back-up or supplementary dosimetry procedures used in addition to the regular services (the results of which may be used in the event of failure of the regular service).

Additional dosimeters and procedures may be used for day-to-day dose control purposes, which may also be approved for determining compliance with the 2-week limits referred to in sections 4.6 and 6 of this document. Special consideration may have to be given to the determination of the dose to embryos and foetuses, as indicated in section 4.6.

5.3.2 Dose Determination For Members of the General Public

The AECB requires that potential sources of exposure be controlled by licensees such that it is most unlikely that members of the public will be exposed in excess of any regulatory limit. In fact, the amount of radioactive substances discharged to the environment from licensed operations is usually so small that it is neither practicable nor necessary to measure the doses and intakes of members of the public, nor to estimate their doses and intakes from measurements in their immediate environment. Any exposures that do occur are generally estimated by measuring any radioactive effluents before they become dispersed in the environment and using these measurements along with appropriate environmental pathways models to calculate the intakes and doses for representative members of those groups of the public who are likely to receive the highest doses.

Monitoring of public areas and public water supplies in the vicinity of some of the larger installations may be required in order to verify that the release rates and environmental dispersion have been properly estimated. Similarly, monitoring of significant radiation dose rates in areas accessible to the public may be required in order to estimate the highest doses likely to be received by members of the public, taking into account the maximum likely duration of exposure.

In accord with the above, the procedures required under subsection 19.3(1) of the proposed regulations (which is quoted at the start of section 5.3 of this document) would generally relate primarily to:

- the calculation of derived effluent and dose rate limits that correspond to the regulatory dose limits; and
- the control and monitoring of effluents and dose rates to ensure compliance with the derived limits.

6. ACTION IF DOSE LIMIT EXCEEDED

The action to be taken in the event that a dose limit is exceeded is specified in subsection 19.2(1) of the proposed regulations:

> "Every licensee shall in the event that, as a result of that licensee's use or possession of a prescribed substance or operation of a nuclear facility, a person receives a dose of radiation in excess of any dose limit specified in respect of such person in Schedule II,
>
> (a) forthwith inform that person and the Board of the event;
>
> (b) forthwith carry out an investigation to establish the causes of the event and report thereon to the Board; and
>
> (c) assist the Board in any investigation it may carry out with respect to the event."

The dose of concern in the foregoing regulation is the dose received by any person in a dosimetry year, including the committed dose from radioactive substances taken into the body during that year. In the case of exposure of atomic radiaton workers, exposure restrictions would be required if the dose actually received in a dosimetry year were to exceed any corresponding dose limit value specified in Part 1 of Schedule II, as specified in subsection 19.2(2) of the proposed regulations:

> "Every licensee shall in the event that, as a result of that licensee's use or possession of a prescribed substance or operation of a nuclear facility, an atomic radiation worker receives a dose of radiation in a dosimetry year in excess of any dose limit specified in Part 1 of Schedule II, excluding the portion of the committted dose equivalent and the committed effective dose equivalent not received in that year, limit any further dose of radiation received by that person in any subsequent period of two weeks to one twenty-fifth the dose limits specified in Part 2 of Schedule II until the later of the termination of that person's dosimetry year or three

months following the event."

This exposure restriction would be required if the dose received by an atomic radiation worker in a dosimetry year (excluding the portions of the dose equivalent and effective dose equivalent committed in that year but not delivered to body tissues until subsequent years) exceeds any corresponding dose limit value specified in Part I of Schedule II. In other words, if an atomic radiation worker is exposed to radiation or radioactive prescribed substances such that he or she has received or will receive in the current dosimetry year an effective dose equivalent greater than 50 mSv, a dose equivalent to an eye lens greater than 150 mSv, or a dose equivalent to any other organ or tissue greater than 500 mSv, then the licensee would be required to limit any further exposure of that worker such that any additional dose received in any subsequent period of two weeks would not exceed one twenty-fifth the dose limits specified for members of the public in Part 2 of Schedule II. This exposure restriction would remain in force until the end of that worker's dosimetry year or three months following the exposure event that caused the limiting dose value to be exceeded, whichever is later.

These restrictions are more specific than the general requirement in the present regulations that a worker who exceeds a dose limit "shall not engage in further work that is likely to add significantly to the amount of ionizing radiation that he has received until the Board approves thereof". The value of 1/25 the limits of Part 2 of Schedule II, per two weeks, is simply a proration of the annual limits for members of the public. The obligation to restrict further exposure would be placed on the licensee, instead of the worker as in the present regulations. (It is not intended, however, to remove responsibility from workers for taking all reasonable precautions. Both employers and employees have a role in the limitation of exposure to radiation.) Since the exceeding of a dose limit could be indicative of a breakdown in control, the exposure circumstances must be investigated, and the three month restriction on dose rate is intended to provide time for this investigation so that the reasons for exceeding the limit can be determined and any necessary corrective measures taken to prevent a recurrence. In some circumstances, however, the three-month restriction may be either unnecessary or inadequate, and so provision for the Board to abridge or extend it is made in subsection 19.2(3):

"The Board may, upon application or on its own motion, abridge or extend the time limits specified in subsection (2) if

(a) the licensee and the atomic radiation worker have been afforded a

reasonable opportunity to be heard or make representations;

(b) in the case of an abridgement, such abridgement is not inimical to the interests of health or safety; and

(c) in the case of an extension, such extension is deemed by the Board necessary in the interests of health or safety."

The notification and investigation specified in subsection 19.2(1), (which is quoted at the beginning of section 6 of this document), are required if any dose limit is exceeded, where the dose of concern includes both the "dose equivalent" received during the current dosimetry year and the "committed dose equivalent" resulting from the intake of radioactive substances during that year. As will be explained in the following paragraph, there are difficulties associated with the concept of committed dose equivalent; nevertheless, consideration of the committed dose equivalent is necessary for planning and dose control purposes, and any breach of the limit on committed dose equivalent may be indicative of a breakdown in control and so should be investigated.

The exposure restrictions specified in subsection 19.2(2) are required only if the dose actually received by a person during a dosimetry year (excluding the portion of the committed dose that will not be received until subsequent years) exceeds any limiting value specified in Schedule II. The reason that the criterion for this restriction differs from the criteria for the requirements specified in subsection 19.2(1) is that estimates of committed dose are very uncertain for some long-lived substances because they are based on a prediction of how the substance will behave in the body during the fifty years following the intake. For example, some workers in uranium refineries are exposed to various mixtures of uranium compounds, the properties of which are so variable that the retention time in the lungs of any inhaled material ranges from days to years. The amount of uranium in the lungs (and the resulting dose) may be determined reasonably accurately for the year of intake, but predictions of the amount remaining in the lungs in future years is rather uncertain. In practice, bioassay measurements over a period of years have shown that the predicted committed dose often exceeds the actual committed dose. Consequently, undue hardship could be placed on a worker by imposing exposure restrictions on the basis of the estimated committed dose.

The requirement in paragraph 19.2(1)(a) to inform any person who exceeds a dose limit would necessarily be applied differently with respect to those members of

the public who are not individually monitored than with respect to persons for whom individual dose assessments are regularly made. The possible exceeding of a dose limit by members of the public would generally be indicated by excessive releases of radioactive substances to the environment, or by excessive radiation fields from licensed sources, and the specific individuals who might be exposed in excess of a limit might not be identifiable. The AECB, which has to be informed in all cases, would have to determine in each case whether or not specific members of the public whose dose might have exceeded a limit could be identified, and the most appropriate means of informing them of the event.

7. DETERMINING WHAT DOSE LEVEL IS AS LOW AS REASONABLY ACHIEVABLE

The dose levels (or the intakes of radioactive substances, or the releases of radioactive substances to the environment) that are as low as reasonably achievable in a particular operation may be determined in a variety of ways, depending on the circumstances. Experience is an important factor, with the results of experience being embodied in operational limits or targets, in action levels, or in dose allotments for particular operations, all of which are usually less than (but could be equal to) the regulatory limits. Whether or not the doses (or the intakes or releases) are as low as reasonably achievable under a given set of circumstances may be determined by examining a comprehensive range of alternative dose-reduction procedures and balancing the costs of the various alternatives against the amounts of dose reduction that could be achieved by each. In the case of intakes of radioactive substances, or of releases of radioactive substances to the environment, an estimate should be made of the resulting doses to people in order to provide a consistent measure of impact for comparison with the costs of the various dose-reduction procedures.

If a significant reduction in collective dose can be obtained at a reasonable cost, then the reduction should be made. In practice, initial efforts at dose limitation generally result in substantial reductions at relatively low cost, but as doses (or intakes or releases) are reduced lower and lower, the cost of further reductions eventually becomes prohibitively high. In other words, there is some value of cost per unit dose reduction (dollars per person-sievert of dose reduction, for example) below which an expenditure should be made and above which it would be inordinately expensive compared to the relatively small resulting reduction in health risk.

A range of monetary values for the elimination of a person-sievert have been used in other countries and by international organizations. These values are generally in the range of a few tens of thousands of dollars per person-sievert (a few hundred dollars per man-rem) and reflect the amount of money that is generally spent to reduce health risks in other areas, such as traffic safety or public health. For example, if it were considered reasonable to spend one million dollars in order to prevent one statistical fatality, and if the statistical risk of a fatal stochastic effect from radiation is 1 in 60 per person-sievert (as explained in Appendix 1), then it would be reasonable to spend $1,000,000/60 = $17,000 in order to reduce the collective dose from a given operation by 1 person-sievert ($170 per man-rem).

A disadvantage of specifying a single monetary value for the elimination of a person-sievert is that this would be somewhat contrary to the way in which the importance of dose reductions is generally perceived. In practice, greater attention tends to be given to higher than to lower doses, which suggests that a greater value should be attached to the elimination of a person-sievert composed of individual doses that are close to the limit than for a person-sievert made up of very small individual doses. For this and other reasons, the AECB does not at this time propose to specify a monetary value for the elimination of a person-sievert.

The desirability of a possible expenditure for reducing doses is often obvious in practice even without a specified monetary value for the elimination of a person-sievert, because either substantial dose reductions can be made at modest cost, or substantial costs would be involved which would result in only small dose reductions. The importance of a possible improvement in radiation protection may be judged by comparing the individual and collective doses with and without the improvement, and the reasonableness of the cost of the improvement may be judged by comparing it with the costs generally accepted for similar amounts of dose reduction in other areas. The dose values that are judged to be as low as reasonably achievable for any given operation depend very much on the associated circumstances and therefore are best decided case-by-case after consultation between the licensee and the AECB.

The types of health and cost balance discussed above help to provide a consistent and objective assessment of what dose levels are as low as reasonably achievable under a given set of circumstances, but it is often necessary to

consider other factors as well, such as good industrial practice in similar situations where radiation is not involved, environmental quality, and social considerations. An additional and overriding requirement is that the dose limits must be respected, regardless of economic considerations.

APPENDIX 1

Risk Estimates, Acceptable Risk and Dose Limits

Since there is no known threshold dose of radiation below which some "stochastic effects" might not occur, some risk of stochastic effects will probably exist no matter what level the dose limit is set at. It follows that the setting of a dose limit is equivalent to specifying a maximum acceptable level of risk. (It is nevertheless not acceptable to be exposed to the full extent of the limit if a lower dose can be reasonably achieved.) An example of what level is acceptable was provided during a public inquiry into uranium mining in Saskatchewan*:

> "in assessing the adequacy of the present standards for radiation exposures, it must be understood that these standards are not intended to indicate values for exposure below which resulting risks would be zero. For some types of hazards, threshold limits may exist so that a safe limit can be established. However, for many others no threshold limit exists below which the hazards would be zero. As long as demonstrated benefits are being obtained the practice is to set limits so that the risks are 'acceptable'. The princible of acceptability is relatively easy to state: What is 'acceptable' depends upon what hazards society is willing to put up with in order to achieve certain desirable consequences... Limits ... are arrived at by combining experience, expertise, common sense and the level of the public's tolerance particularly as it is expressed in common everyday activities."

The approach taken by the ICRP in recommending 50 mSv per year as the limit on "effective dose equivalent" for occupational exposure is consistent with these principles in that the health risk resulting from the average radiation dose received by many occupational groups working under a 50 mSv annual limit is no greater than the average risk of a fatal accident in industries having a high standard of safety, which are generally considered as those in which the

---

* The Cluff Lake Board of Inquiry Final Report (to the government of Saskatchewan in 1978); Chairman: Hon. Mr. Justice E.D. Bayda. The quotation is from paragraph 3.60.

incidence of fatal accidents is no greater than about one per year for every 10,000 employees. This is equivalent to an average risk over a 50-year occupational lifetime of one fatal accident for every 200 employees. The risk to some of the workers (such as the office workers) in a given industry is generally less than the average for that industry, whilst the risk to some of the other workers is higher than average. Similary, the radiation risk to atomic radiation workers should be expected to vary over a wide range, depending on the dose received.

In addition to the risks from radiation, atomic radiation workers are exposed to the normal non-radiological hazards, which are relatively low for reactor operators (for example) and relatively high for uranium miners. No account has been taken of these other risks when setting the dose limits.

The risk of radiation-induced stochastic effects is about one chance in 60,000 per mSv, however, the lifetime risk averaged over all workers is about 80% of this value, as explained below (0.8 in 60,000 or 1 in 75,000). The total dose accumulated over a working lifetime that corresponds to a risk of 1 in 200 (the average lifetime risk in a safe industry) is therefore 375 mSv. In the most unlikely event that an atomic radiation worker was to be exposed at the 50 mSv limit every year, he would accumulate 2500 mSv over a working lifetime of 50 years. His total lifetime occupational risk would then be about 7 times as high as the average risk in a safe industry (statistically speaking) and would be comparable to the average risk in one of the more hazardous occupations such as mining, construction or farming. That is, the radiation risk resulting from continued exposure at the dose limit would be comparable to the average risk in one of the more hazardous occupations.

Basis of risk factor of 1 in 60,000 per mSv:

The stochastic risk from exposure to radiation has been determined by studying large groups of persons who have been exposed to large doses of radiation. There are four major sources of such risk information, involving epidemiological studies of: patients exposed to therapeutic doses of X-rays; patients and workers who ingested radium; uranium miners exposed to radon daughters in inadequately ventilated mines; and survivors of the atomic bombing of Japan who were exposed primarily to gamma radiation. Slight to substantial increases in cancer incidence have been observed amongst those groups of persons who received

effective dose equivalents of hundreds to thousands of millisieverts. Such epidemiological studies, as well as information obtained from laboratory studies on animals, is continually reviewed by the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (6, 7)

The ICRP also maintains an ongoing review of new information on the effects of radiation and has concluded from the combined results of the numerous epidemiological studies reviewed by its own members and committees, by UNSCEAR, and by other national and international bodies, that the appropriate risk factor on which to base radiation dose limits is about one chance of fatal cancer or genetic injury in 60,000 per mSv. This risk factor was reexamined and confirmed by the ICRP in 1978 and again in 1980 (2a,2b). The risk estimate is comprised as follows:

> If a million people each receive a whole-body dose of 1 mSv, (resulting in a collective dose of 1000 person-sieverts),
>
> > 12 or 13 might develop fatal cancer or leukemia, and
> >
> > 4 genetic defects might develop amongst their children and grandchildren.

The total risk of stochastic effects is 16 or 17 per million persons per mSv (or 16 or 17 per 1000 person-sieverts) which is about 1 chance in 60,000 per mSv (or 1 stochastic effect for every 60 person-sieverts).

Although the ICRP has recommended that the above risk factor be used for radiation protection purposes, and has used it as the denominator when deriving its "weighting factors" (2), it has also pointed out that use of this factor would overestimate the average risk in a typical working population composed of workers of all ages from 18 to 65, because some of the workers would die of other causes before a potentially fatal cancer had time to develop to a lethal stage (13). The average risk in a typical working population is only about 80% of the above value. (13)

APPENDIX 2

Conversion From Radon Daughter "Exposure" To "Intake"

Radon daughter "exposure" has generally been expressed in working level months (WLM), which is the product of the radon daughter concentration in working levels (WL) and the duration of exposure in months, where a "month" is 170 working hours. (It follows that 1 WLM = 170 WLh.)

A "working level" is a concentration of "potential alpha energy" of radon daughters in air equal to 1.30×10^5 MeV/L, or, in SI units, 2.08×10^{-5} J/m^3.

The amount of "potential alpha energy" inhaled by a person whose "exposure" to radon daughters is 1 WLh depends on his breathing rate; at a "reference man" breathing rate of 1.2 m^3/h, the intake is

$$2.08 \times 10^{-5} \frac{J}{m^3} \text{ h} \times 1.2 \frac{m^3}{h} = 2.496 \times 10^{-5} \text{ J};$$

i.e., 1 WLh = 2.5×10^{-5} J.

The annual limit on intake (ALI) recommended by the ICRP is 0.02 J. (3)

This intake would result from the exposure of a reference man to

$$\frac{0.02 \text{ J}}{2.5 \times 10^{-5} \text{ J/WLh}} = 800 \text{ WLh, or to}$$

$$\frac{0.02 \text{ J}}{2.5 \times 10^{-5} \text{ J/WLh} \times 170 \frac{\text{WLh}}{\text{WLM}}} = 4.7 \text{ WLM};$$

i.e., the ALI of 0.02 J is equivalent to an annual exposure limit of 800 WLh or 4.7 WLM.

A slightly greater value (4.8 WLM) is given in reference 3, which resulted from premature rounding of the exposure in SI units before converting it to WLM:

$$\frac{0.02\ \text{J}}{1.2\ \text{m}^3/\text{h}} = 1.67 \times 10^{-2}\ \frac{\text{J}}{\text{m}^3}\ \text{h} \simeq 1.7 \times 10^{-2}\ \frac{\text{J}}{\text{m}^3}\ \text{h}$$

$$\frac{1.7 \times 10^{-2}\ \dfrac{\text{J}}{\text{m}^3.\text{h}}}{2.08 \times 10^{-5}\ \dfrac{\text{J}}{\text{m}^3.\text{WL}} \times 170\ \dfrac{\text{WLh}}{\text{WLM}}} = 4.8\ \text{WLM}$$

Calculating back from 4.8 WLM, the breathing rate corresponding to an intake of 0.02 J would be 1.18 m^3/h instead of the reference man rate of 1.2 m^3/h. Calculating back from 4.7 WLM gives the correct value of 1.2 m^3/h.

APPENDIX 3

Glossary of Terms

For purposes of simplicity, some of the terms in this glossary are defined slightly differently than in the Atomic Energy Control Act or Regulations, and some of the terms are defined more narrowly or with less scientific rigor than in standard reference texts. The corresponding French terms are given in parenthesis after each definition.

"a^{-1}": per annum;

"absorbed dose": the amount of energy absorbed in the body, or in an organ or tissue of the body, due to exposure to ionizing radiation, divided by the respective mass of the body, organ or tissue; the unit of absorbed dose is the joule per kilogram and its special name is the gray (Gy); 1 Gy = 1 joule/kg (= 100 rads); (dose absorbée)

"Advisory Committee on Radiological Protection" (ACRP): a committee of scientists and medical and radiation protection experts appointed by the AECB to provide advice (independently of advice provided by the AECB staff) on any matter relating to "radiation protection"; (CCRP)

"AECB": "Atomic Energy Control Board"; (CCEA)

"ALI": "annual limit on intake" of a radioactive substance; (LAI)

"Annual Limit on Intake" (ALI): the amount of radioactive substance taken into the body in one year that will result in a "committed dose" equal to either the stochastic or non-stochastic dose limit; different ALI values apply to "intake" by inhalation and ingestion, and different values apply to atomic radiation workers and members of the public, as explained in section 4.4 of the text; (limite annuelle d'incorporation)

"as low as reasonably achievable": a level of individual or collective dose or intake, of effluent release, or of any other parameter related to radiation dose, such that the cost of reduction to a lower level would under the given circumstances exceed the resulting health benefit, the health benefit being the reduction in "detriment" resulting form the reduction in dose; this concept is

explained in section 2 of the text, and guidance on how to determine what level is as low as reasonably achievable is given in section 7; (niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre)

"Atomic Energy": all energy of whatever type derived from or created by the transmutation of atoms; (énergie atomique)

"Atomic Energy Control Act" (R.S.C. 1970 C.A-19): an act passed by the Parliament in 1946 in order to provide for the control and supervision of the development, application and use of atomic energy and to enable Canada to participate effectively in measures of international control of atomic energy; (Loi sur le contrôle de l'énergie atomique)

"Atomic Energy Control Board" (AECB): a body corporate constituted by the Atomic Energy Control Act for the purposes set out in the Act; (Commission de contrôle de l'énergie atomique)

"Atomic Energy Control Regulations" (C.R.C. 1978 C.365): regulations made pursuant to the Atomic Energy Control Act by the Atomic Energy Control Board; (Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique)

"Atomic radiation worker": defined in section 3 of this document; (travailleur sous rayonnements)

"becquerel" (Bq): the special name of the unit of activity (which is the rate of radioactive disintegration of a substance); one becquerel of a radioactive substance disintegrates by radioactive decay at the rate of one disintegration per second; (1 curie = 3.7×10^{10} Bq);

"bioassay": the measurement of radioactive substances in the body, either by analysis of excreta (usually urine) or by measurement of radiation from the substances by means of radiation detectors outside the body; (essai biologique)

"Board": Atomic Energy Control Board; (Commission)

"Bq": becquerel;

"carcinogen": a substance or agent that can produce or incite cancer; (cancérigène)

"cm^2": abbreviation for the "square centimeter" unit of area;

"collective dose": the sum of the individual doses received by all the persons exposed to a given source of radiation; it is also the product of the average dose to a group of exposed persons and the number of persons in the group; collective dose is generally expressed in "person-sieverts"; (dose collective)

"committed dose" (H_{50}): the total dose received from radioactive substances in the body during the 50 years following the intake of those substances; when it is impractical to determine from bioassay measurements the H_{50} value from a radioactive substance in the body, it may be determined as follows:

- in the case of the committed effective dose equivalent,

$$H_{50} = \frac{I}{ALIs} \times 50 \text{ mSv};$$

- in the case of the committed dose equivalent to an organ or tissue,

$$H_{50,T} = \frac{I}{ALI_{ns}} \times 500 \text{ mSv; where}$$

I is the intake of a given radioactive substance by inhalation or ingestion;

ALIs is the ALI value for the given substance, for inhalation or ingestion respectively, based on the limitation of stochastic effects, and

ALI_{ns} is the ALI value for that substance, for inhalation or ingestion respectively, based on the prevention of non-stochastic effects;

(dose engagée)

"critical organ": the organ or tissue of the body that is likely to be most affected by exposure from a given source of radiation, and is usually the organ or tissue receiving the highest dose equivalent; this concept is obsolescent, being replaced by the concept of "effective dose equivalent" which accounts for the dose to all organs and tissues; (organe critique)

"daughter": an atom produced by the radioactive decay of another (parent) atom; (produit de filiation)

"derived limit": a limit on the concentration or emission rate of a radioactive substance, or on dose rate, or on some other quantity that may be derived from a dose limit, such that compliance with the derived limit gives reasonable assurance that the dose limit is not exceeded; (limite dérivée)

"detriment": the mathematical expectation of individual or collective harm incurred from exposure to radiation, taking into account the probability of each type of deleterious health effect and the severity of each effect; (détriment)

"dose": a dose of radiation, either "dose equivalent", "committed dose equivalent", "effective dose equivalent", or "committed effective dose equivalent", depending on the context; (dose)

"dose equivalent": the "absorbed dose" multiplied by a "quality factor" to account for the different potential for injury of different types of radiation; a "gray" of absorbed dose multiplied by the appropriate quality factor yields a "sievert" of dose equivalent; (équivalent de dose)

"dose limit": a limit on radiation dose specified in the Atomic Energy Control Regulations; (limite de dose)

"dosimetry year": a nominal period of twelve consecutive months (usually a calendar year) for which the annual doses received by atomic radiation workers and others are determined; the length of a dosimetry year may vary from year to year according to necessary variations in dosimetry schedules but shall be not less than 50 nor more than 54 consecutive weeks, with starting and ending dates for particular groups of persons specified in advance and subject to inspection by the AECB; (année de dosimétrie)

"effective dose equivalent" (H_E): the sum of the "weighted dose equivalents" received by the organs and tissues of the body, which may be expressed in mathematical form as follows:

$$H_E = \sum_T w_T H_T, \quad \text{where}$$

$\sum_T$ is a symbol that means the sum, for all organs or tissues, of all that follows the symbol (in this context, the sum of all the $w_T H_T$ values);

w_T is a weighting factor for organ or tissue T which has the values listed below under "weighting factor",

H_T is the dose equivalent received by organ or tissue T, which includes the dose equivalent from external sources of radiation plus the "committed dose" equivalent from radioactive substances in the body;

(équivalent de dose effectif)

"effective half-life": the time elapsed during which the amount of a radioactive substance in the body, or in an organ or tissue of the body, decreases to half of the amount initially present by the combined action of radioactive decay and biological processes; (période effective)

"embryo": the developing individual from the time of implantation in the uterus (about two weeks after fertilization) until the seventh or eighth week after fertilization; (embryon)

"exposure": exposure to an internal or external source of radiation, or, depending on the context, the product of the concentration of a radioactive substance in air (or the dose rate from a source of radiation) and the duration of exposure to that concentration (or dose rate); (exposition)

"external exposure": exposure to a source of radiation that is outside the body; (exposition externe)

"external source of radiation": a source of radiation outside the body; (source externe de rayonnements)

"fertilization": union of male sperm and female ovum leading to the development of a new individual; (fécondation)

"foetus" (or fetus): the stage of development after attaining the basic structural form, from seven or eight weeks after fertilization until birth; (foetus)

"genetic effects": see "inheritable injury"; (effets génétiques)

"gonad": one of the primary sex glands which include the ovaries in a woman and the testes in a man; (gonade)

"gray": the special name of the unit of "absorbed dose" (1 Gy = 1 joule/kg);

"ICRP": "International Commission on Radiological Protection"; (CIPR)

"ingestion": to take into the stomach, as in eating or drinking; (ingestion)

"inhaled potential alpha energy": the "potential alpha energy" of inhaled radon or thoron daughters; (énergie potentielle alpha inhalée)

"inheritable injury": hereditary defects that are genetically transmitted from a parent to a child and which may appear amongst the children and subsequent generations of a parent whose gonads (ovaries or testes) have been exposed to radiation anytime before the conception of children; (lésion héréditaire)

"inspector": any person appointed as such pursuant to the Atomic Energy Control Regulations; (inspecteur)

"intake": the entry of a substance into the body by inhalation, ingestion, or by diffusion or absorption through the skin; (incorporation)

"intake limit": see "annual limit on intake"; (limite d'incorporation)

"internal exposure": exposure to radiation from a radioactive substance inside the body; (exposition interne)

"internal source": a source of radiation (i.e., a radioactive substance) inside the body; (source interne)

"International Commission on Radiological Protection": the ICRP was established by the International Congress of Radiology in 1928 under the name International X-ray and Radium Protection Committee. It assumed its present name and organizational form in 1950 to cover more effectively the increasing radiation protection needs resulting from the expanding uses of radiation sources in research and industry as well as in medicine, and from the rapid developments in the nuclear industry. The ICRP itself includes only 13 members, but this international group of medical doctors and scientists is assisted by several specialist committees and working groups and thereby draws on a wide range of expertise from the world's medical, scientific and radiation protection communities. The role of the ICRP is to provide guidance for the protection of people against ionizing radiation, and its recommendations (many of which are referenced at the end of this document) are generally used by the International Atomic Energy Agency and other international and national bodies as the basis for their radiation protection regulations and guidelines. (Commission internationale de protection radiologique)

"ionizing radiation": any atomic or subatomic particle or electromagnetic wave having sufficient energy per particle or photon to produce ions (atoms which have become charged due to the the loss or gain of electrons) in the material in which it is absorbed; ionizing radiation includes alpha and beta particles and gamma radiation, as well as neutrons and some other particles; (rayonnement ionisant)

"irradiated": exposed to radiation from an internal or external source of radiation; (irradié)

"Ja^{-1}": joules per annum, used in this document as a measure of the intake of "potential alpha energy" in the radon of thoron daughters inhaled in a year;

"joule" (J): the name of the unit of energy in the "S.I." system of units, and used in this document as a measure of the "potential alpha energy" of radon and thoron daughters;

"medical advisor": a medical officer appointed by the AECB to provide advice on medical aspects of exposure to radiation; medical advisors have been appointed from each province, from National Health and Welfare, from the Canadian Armed Forces and from Atomic Energy of Canada Limited; (conseiller médical)

"man-rem": the old unit of "collective dose" which is being replaced by the "person-sievert" (1 man-rem = 0.01 person-sieverts); (homme-rem)

"members of the public" are persons who are not "atomic radiation workers" and include (in addition to members of the public at large) persons who work at a licensee's premises or facility who are not considered to be atomic radiation workers; (membres du public)

"millisievert" (mSv): one thousandth part of a "sievert" (1 Sv = 1000 mSv);

"mSv": millisievert;

"non-stochastic effects": biological effects that occur only if a certain threshold dose is exceeded, the severity of which increases with increasing absorbed dose; reddening of the skin, vascular damage to tissues, opacities of the eye lenses, and acute radiation sickness are examples of non-stochastic effects; (effets non stochastiques)

"non-stochastic limit": a limit on dose equivalent that is intended to prevent the occurrence of "non-stochastic effects"; (limite non stochastique)

"nuclear facility": a nuclear reactor, a sub-critical nuclear reactor, a particle accelerator, a uranium or thorium mine or mill, a plant for the separation, processing, re-processing or fabrication or fissionable substances, a plant for the production of deuterium or deuterium compounds, and a facility for the disposal of prescribed substances, including all land, buildings and equipment that are connected or associated with such reactor, accelerator, plant or facility; (établissement nucléaire)

"occupational dose" or "occupational exposure": a radiation dose or an exposure to radiation received while employed as an "atomic radiation worker"; (dose professionnelle ou exposition professionnelle)

"occupational limit": a dose limit applicable to an "atomic radiation worker"; (limite professionnelle)

"operational limit" (or "target"): a limit on a quantity such as dose, dose rate, concentration of radioactive substances in air or water or on surfaces, or effluent rate, which is established by a licensee for purposes of routine dose control; operational limits are generally lower than regulatory limits, but could equal regulatory limits in some circumstances; (limite opérationnelle ou cible)

"organ": a structure of the body such as the lungs, gonads or thyroid gland that performs some specialized function; (organe)

"organogenesis": the origin and development of body organs; (organogénèse)

"penetrating radiation": ionizing radiation that can penetrate right through the body, or through a substantial part of the body; (rayonnement pénétrant)

"person-sievert": the unit of "collective dose"; (personne-sievert)

"potential alpha energy": the energy of all the alpha particles that could be released from a given quantity of radon or thoron daughters during their successive stages of radioactive decay to lead-210 and lead-208, respectively; (énergie potentielle alpha)

"prescribed substances": uranium, thorium, plutonium, neptunium, deuterium, their respective derivatives and compounds and well as any other substances that the Board may by regulation designate as being capable of releasing atomic energy, or as being requisite for the production, use or application of atomic energy; (substances prescrites)

"public": see "members of the public"; (public)

"quality factor": a factor by which the "absorbed dose" is multiplied in order to account for the different potentials for injury of unit absorbed dose of different types of radiation (the product of "absorbed dose" and a "quality factor" being the "dose equivalent"); the following quality factor values are used for radiation protection and regulatory purposes:(facteur de qualité)

Type of Radiation	Quality Factor*
Gamma and X-radiation	1
Beta particles and electrons	1
Neutrons of energy less than 10 000 electron volts	2
Neutrons of energy equal to or greater than 10 000 electron volts	10
Neutrons of unknown energy	10
Singly-charged particles of rest mass equal to or greater than one atomic mass unit	10
Multiply-charged particles	20

* these values are generally applicable to a wide range of energies, however different values may be more appropriate under certain circumstances and may be specified by the AECB on a case-by-case basis;

"rad": the name of the old unit of "absorbed dose" which is being replaced by the "gray" (1 rad = 0.01 gray = 10 mGy);

"radiation" as used in this document means "ionizing radiation" emitted or produced by a "radioactive" "prescribed substance" or a "nuclear facility"; (rayonnement)

"radiation protection" (also radiological protection): the science and practice of assessing radiation hazards and of developing, encouraging the use of, and using the instruments, protective clothing, guidelines and procedures required for keeping radiation doses within the dose limits and as low as reasonably achievable; (radioprotection ou protection radiologique)

"radioactive": exhibiting radioactivity, which is the property of undergoing a spontaneous nuclear transformation with the emission of ionizing radiation; (radioactif)

"radiological": relating to "radiation"; (radiologique)

"radionuclide": a radioactive atom as characterized by the number of neutrons and protons in its nucleus; (radionucléide)

"radon" (^{222}Rn): the radioactive gas produced by the radioactive decay of radium-226 (which is produced through a series of radioactive decay steps from uranium-238), and which, through radioactive decay, gives rise to "radon daughters"; (radon)

"radon daughters" (^{222}Rn daughters): the following short-lived radioactive substances produced by a series of radioactive disintegrations starting with the disintegration of radon-222: polonium-218 (radium A), lead-214 (radium B), bismuth-214 (radium C), and polonium-214 (radium C'); (produits de filiation du radon)

"radon or thoron daughters" means "radon daughters" or "thoron daughters";

"reference man": a hypothetical person whose dietary habits and physiological characteristics are generally representative of male atomic radiation workers; (homme de référence)

"regulations": Atomic Energy Control Regulations; (Règlement)

"regulatory limit": a limit prescribed in or derived from the "Atomic Energy Control Regulations"; (limite réglementaire)

"rem": the name of the old unit of "dose equivalent" which is being replaced by the "sievert" (1 rem = 0.01 sievert = 10 mSv)

"S.I.": see "système international d'unités"; (SI)

"sievert" (Sv): the special name of the unit of "dose equivalent" and of "effective dose equivalent" (1 Sv = 100 rems); (see "dose equivalent" for a more quantitative definition);

"stochastic effects": biological effects that may occur at random amongst an exposed group of people, with the probability of occurence being proportional to the effective dose equivalent, usually without a threshold; cancer and inheritable injury are the stochastic effects of primary concern; (effets stochastiques)

"stochastic limit": a limit on "effective dose equivalent" or on "weighted dose equivalent" that is intended to limit the chance of occurrence of "stochastic effects"; (limite stochastique)

"système international d'unités" (international system of units): an internationally agreed system of units based on the metric system, which has been adopted by the Canadian government;

"target": see "operational limit"; (cible)

"thoron" (^{220}Rn): the radioactive gas produced by the radioactive decay of radium-224 (which is produced through a series of radioactive decay steps from thorium-232), and which, through radioactive decay, gives rise to "thoron daughters"; (thoron)

"thoron daughters" (^{220}Rn daughters): the following short-lived radioactive substances produced by a series of radioactive disintegrations starting with the disintegration of radon-220: polonium-216 (thorium A), lead-212 (thorium B), bismuth-212 (thorium C) and polonium-212 (thorium C); (produits de filiation du thoron)

"threshold dose": a dose level below which a given effect will not occur; (dose seuil)

"tissue": group of similar cells which together perform certain specialized functions (eg., bone marrow, bone surfaces, and eye lenses); (tissu)

"weighted dose": weighted dose equivalent; (dose pondérée)

"weighted dose equivalent": the dose equivalent to the body, or to an organ or tissue of the body, multipled by the appropriate "weighting factor" (i.e., weighted dose equivalent = $w_T H_T$, using the symbols defined under "effective dose equivalent"); (équivalent de dose pondéré)

"weighting factor": a factor by which the dose equivalent received by any organ or tissue of the body is multiplied in order to account for the risk of fatal cancer or inheritable injury resulting from irradiation of that organ or tissue compared to the total risk of such stochastic effects resulting from the receipt of an equal dose equivalent by the whole body; the following weighting factor values are used for radiation protection and regulatory purposes: (facteur de pondération)

Organ or Tissue	Weighting Factor (W_T)
Gonads (testes and ovaries)	0.25
Breast*	0.15
Red bone marrow	0.12
Lungs**	0.12
Bone surfaces	0.03
Thyroid gland	0.03
Other organs or tissues (0.06 for each of the five other organs or tissues receiving the highest dose equivalents)***	0.30
Extremities, eye lenses, skin, and other organs and tissues not covered by the above	0.00
Whole body (or trunk of body)	1.00

* the W_T value is an average for males and females

** when calculating the effective dose equivalent from inhaled radon or thoron daughters, it is appropriate to subdivide the W_T for the total lungs into two W_T values: 0.06 for the basal cell layer of the tracheo-bronchial region and 0.06 for the pulmonary region;(3)

*** the extremities, eye lenses and skin are excluded; in the case of irradiation of the gastrointestinal tract, the stomach, small intestine, upper large intestine, and lower large intestine are considered as separate organs;

"working level" (WL): a unit of concentration of radon or thoron daughters in air expressed in terms of the "potential alpha energy" of the amount of daughters in a cubic meter or a litre of air; 1 WL = 2.08×10^{-5} joule per cubic meter = 1.3×10^{5} MeV per litre; (unité alpha)

"working level hour" (WLh): a unit of exposure of a person to radon or thoron daughters, the number of WLh of exposure being determined by multiplying the concentration of radon or thoron daughters in air (expressed in working levels) by the duration of exposure in hours; (unité alpha-heure)

"working level month" (WLM): 170 "working level hours". (unité alpha-mois)

APPENDIX 4

References and Notes

1. Atomic Energy Control Regulations, chapter 365 of the Consolidated Regulations of Canada 1978, and amendments SOR/78-58 and SOR/79-422, 83-459.
   The 1978 amendment introduced exposure limits for radon daughters, expressed in WLM.

2. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Annals of the ICRP, Vol. 1, No. 3, (ICRP Publication 26), Pergamon Press, 1977.
   The new concept of limiting the sum of the weighted dose equivalents to individual organs and tissues was introduced, which was later (in reference 2a) given the name "effective dose equivalent". The annual dose limit recommended for the eye lens is given as 300 mSv, but this was later (in reference 2b) changed to 150 mSv.

2a. Statement from the 1978 Stockholm meeting of the ICRP, in Annals of the ICRP, Vol. 2, No. 1, (ICRP Publication 28), Pergamon Press, 1978.

2b. Statement and Recommendations of the ICRP from its 1980 Meeting, in Annals of the ICRP, Vol. 4, No. 3/4, (ICRP Publication 30, Part 2), Pergamon Press, 1980.

3. Limits for Inhalation of Radon Daughters by Workers, Annals of the ICRP, Vol. 6, No. 1, (ICRP Publication 32), Pergamon Press, 1981.

4. Implications of Commission Recommendations that Doses be kept as Low as Readily Achievable, ICRP Publication 22, Pergamon Press, 1973.
   Although the expression "readily achievable" is used in the title (because this was the expression used before 1973) it is stated in a footnote to para. (20) that "reasonably" more closely describes the intention.

5. Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, (ICRP Publication 30), Annals of the ICRP, Vol. 2, No. 3/4 (Part 1); Vol. 3, (supplement to Part

1); Vol. 4, No. 3/4 (Part 2); Vol. 5 (Supplement to Part 2); Vol. 6, No. 2/3 (Part 3); Vol. 7 (Supplement A to Part 3); Vol. 8 (Supplement B to Part 3); Pergamon Press, 1978 to 1983.

6. Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1977 report to the General Assembly, with annexes, United Nations, New York, 1977.

7. Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1982 report to the General Assembly, with annexes, United Nations, New York, 1982.

8. The effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (the "BEIR" Committee), National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1980.

9. Risk Estimates for Exposure to Alpha Emitters, Advisory Committee on Radiological Protection, ACRP-1 (1982), INFO-0090, Atomic Energy Control Board.

10. Radiation Effects on Pre-Natal Development and their Radiological Significance, by R.H. Mole, Medical Research Council (U.K.), The British Journal of Radiology, Vol. 52, No. 614, P. 89-101 (Feb. 1979).

11. Medical Radiation Exposure of Pregnant and Potentially pregnant Women, NCRP Report No. 54, National Council on Radiation Protection and Measurements (1977).

12. The amount of hereditary disease in human populations, B.K. Trimble and J.H. Doughty, Ann. Hum. Genet., London (1974), 38, 199.

13. Problems Involved in Developing and Index of Harm, ICRP Publication 27, Annals of the ICRP, Vol. 1, No. 4, Pergamon Press, 1977.

Consultative Document
Document de consultation

Atomic Energy Control Board

Commission de contrôle de l'énergie atomique

DOCUMENT DE CONSULTATION C-78

Projet de guide de réglementation

LIMITATION DE L'EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS - Notes explicatives concernant un projet de modification du Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique

Publié pour commentaires,

le 14 novembre 1983

Canada

Ce document de consultation est publié dans le but de fournir au public l'occasion d'examiner le projet de réglementation avant qu'il soit adopté dans sa forme définitive. Vous êtes invités à faire parvenir vos commentaires à l'adresse ci-dessous avant le 14 MARS 1984.

Sauf avis contraire de la part de l'envoyeur, une copie de tous les commentaires reçus sera placée dans la salle des documents officiels aux bureaux de la CCEA.

Prière d'adresser vos commentaires à:

Section, Développement des règlements
Commission de contrôle de l'énergie atomique
C.P. 1046
Ottawa (Ontario)
CANADA
K1P 5S9

NOTE: Le projet de modification du Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique a été publié séparément, comme Document de consultation n° C-47. On peut en obtenir des exemplaires en communiquant avec la Commission de contrôle de l'énergie atomique.

TEXTES DE RÉGLEMENTATION DE LA CCEA

1. Le choix d'emplacement, la conception, la fabrication, la construction, la mise en service, l'exploitation et le déclassement d'installations nucléaires ou la production, la possession, l'utilisation et l'élimination de substances prescrites, au Canada ou sous contrôle canadien, sont assujettis aux dispositions de la Loi sur le contrôle de l'énergie atomique et de son Règlement d'application, dont l'administration relève de la Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA).

2. En plus du Règlement susmentionné, la CCEA utilise trois catégories de textes de réglementation. En voici une courte description.

   Conditions générales d'autorisation de permis - ensemble de conditions types figurant dans tous les permis similaires délivrés par la CCEA, à moins de circonstances exceptionnelles;

   Déclarations de principe en matière de réglementation - déclarations laissant clairement entendre que certaines "exigences" qui ne figurent ni dans le Règlement ni dans les conditions des permis sont obligatoires ou que certaines exigences doivent être respectées d'une façon déterminée laissant également entendre que la CCEA se réserve le droit de permettre des écarts ou d'envisager d'autres façons d'en arriver aux mêmes fins, lorsque ces façons semblent convenir; et

   Guides de réglementation - directives ou conseils donnés sur tout aspect de la réglementation assurée par la CCEA mais formulés de façon moins rigoureuse que dans les déclarations de principe.

3. Lors de l'élaboration de ses textes de réglementation, la CCEA en publie d'abord le projet à titre de Document de consultation, afin de connaître les commentaires du secteur nucléaire et du grand public, avant que le projet de texte de réglementation paraisse sous sa forme définitive. Dans certains cas, après l'achèvement de la période réservée aux commentaires, la Commission peut faire mettre le document de consultation à l'essai pratique pour un temps limité. Après cette période d'essai, on demande encore une fois l'opinion du public, avant que le document révisé soit publié sous sa forme définitive.

4. Tout commentaire sur les documents de consultation et toute suggestion à l'égard des nouveaux textes de réglementation ou ceux déjà en vigueur sont les bienvenus; il suffit de les transmettre à la Section du développement des règlements de la CCEA.

5. On peut se procurer des exemplaires des documents de consultation et des textes de réglementation, dans les deux langues officielles, en s'adressant au Bureau d'information publique. Toute demande de renseignements techniques ou d'interprétation des textes devrait être acheminée au Bureau susmentionné.

6. L'adresse de la CCEA est la suivante:

   Commission de contrôle de l'énergie atomique
   C.P. 1046
   Succursale "B"
   OTTAWA (Ontario)
   CANADA K1P 5S9

   Renseignements: (613) 995-5894

Table des matières

		PAGE
1.	Introduction	1
2.	Toutes les doses doivent être maintenues au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre	1
3.	Travailleurs sous rayonnements et membres du public	4
	3.1 Restrictions d'emploi comme travailleur sous rayonnements	7
4.	Limites de dose et d'incorporation	
	4.1 Comparaison entre les nouvelles et les anciennes limites	7
	4.2 Calcul de la dose moyenne en cas d'exposition non uniforme	13
	4.3 Avantages de l'équivalent de dose effectif et répercussions sur la limitation de la dose aux divers organes	14
	4.4 Limites d'incorporation, y compris pour les produits de filiation du radon et du thoron	
	4.4.1 Dispositions générales	16
	4.4.2 Fondement des limites d'incorporation pour les produits de filiation du radon et du thoron	20
	4.5 Considérations s'appliquant aux femmes en état de procréer	24
	4.6 Limite de débit de dose pour les femmes enceintes	27
	4.7 Exposition exceptionnelle concertée, supérieure aux limites normales	28
	4.8 Exemptions des limites de dose	29
5.	Méthodes de détermination des doses et des niveaux d'incorporation	
	5.1 Quels niveaux de dose et d'incorporation faut-il déterminer?	30
	5.2 Pour qui doit-on déterminer les doses et niveaux d'incorporation?	
	5.2.1 Travailleurs sous rayonnements	31
	5.2.2 Membres du public	31
	5.3 Comment déterminer les doses et niveaux d'incorporation?	
	5.3.1 Calcul des doses et des incorporations pour les travailleurs sous rayonnements et certains membres du public déterminés	32
	5.3.2 Calcul des doses pour les membres du public	33
6.	Mesures à prendre en cas de dépassement d'une limite de dose	34
7.	Détermination du niveau de dose le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre	38

ANNEXES

1.	Facteurs de risque, risque acceptable et limites de dose	A1
2.	Conversion d'"exposition" aux produits des filiation du radon en "incorporation"	A5
3.	Glossaire	A7
4.	Références bibliographiques et notes	A21

LIMITATION DE L'EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

Notes explicatives concernant un projet de modification du Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique

1. INTRODUCTION

La Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA) projette de modifier le Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique[1] en fonction des dernières recommandations de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR).[2, 3] Plusieurs méthodes de radioprotection nécessaires pour l'application du Règlement varient selon les conditions particulières à chaque activité et ne peuvent donc pas être incluses dans le Règlement général. La CCEA tient donc à expliquer comment elle compte appliquer son nouveau projet de règlement et quelles sont les principales modifications par rapport au règlement actuel.

L'introduction du concept de "l'équivalent de dose effectif" constitue la plus importante des modifications fondamentales. Ce nouveau concept ainsi que la modification des limites de dose actuelles qui en découle sont expliqués dans l'article 4 du présent document. On a ajouté un autre élément important au Règlement en obligeant le détenteur de permis à maintenir les doses de rayonnements au niveau le plus bas que l'on puisse atteindre raisonnablement, comme l'expliquent les articles 2 et 7.

L'annexe 2 du présent document contient un glossaire de la plupart des expressions qui figurent entre guillemets dans le document.

2. TOUTES LES DOSES DOIVENT ÊTRE MAINTENUES AU NIVEAU LE PLUS BAS QU'IL SOIT RAISONNABLEMENT POSSIBLE D'ATTEINDRE

L'exposition aux "rayonnements ionisants" peut causer divers types de lésions dont certaines, baptisées "effets non stochastiques", surviendront uniquement si la dose de rayonnement est nettement supérieure à la "limite réglementaire". Néanmoins, d'autres types de lésions, baptisées "effets stochastiques", peuvent se produire même à des doses inférieures à la limite réglementaire. En fait, on pense généralement que toute dose de rayonnement est capable de provoquer des effets stochastiques. Le risque d'effets "stochastiques" nocifs varie en

fonction de la dose reçue; plus celle-ci est faible, moins elle risque de causer de lésions. Par conséquent, il est souhaitable d'éviter une exposition inutile aux rayonnements et de maintenir les doses dues à des expositions nécessaires au niveau le plus bas que l'on puisse atteindre raisonnablement. Divers auteurs ont fait valoir le principe de limiter les doses dans toute la mesure du possible en employant notamment des expressions comme "le plus faible niveau possible", "aussi faible que possible", "le niveau le plus faible qu'il soit pratiquement possible d'atteindre", et, plus récemment, "le niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre"[4]. C'est d'ailleurs l'expression qui apparaît dans le paragraphe 19.(2) du projet de règlement, de façon à respecter la terminologie actuellement en usage dans le domaine de la radioprotection:

> "Tout titulaire de permis doit préparer, appliquer et tenir à jour des méthodes conçues pour maintenir les doses de rayonnement au niveau le plus bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu des facteurs économiques et sociaux."

La CCEA applique depuis longtemps ce principe sous une forme quelconque, mais elle ne l'avait jamais inclus comme tel dans le Règlement, en grande partie à cause de la difficulté à pouvoir l'exprimer clairement dans une langue de réglementation appropriée. On considère désormais qu'il est désirable d'inclure ce principe fondamental dans le Règlement, malgré les difficultés d'interprétation possibles. Le présent document fournit quelques lignes directrices pour montrer comment la CCEA jugera du niveau de dose le plus bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre dans n'importe quelle situation donnée. On reconnaît, cependant, qu'il faudra fournir des lignes directrices additionnelles quand le nouveau projet de règlement aura été révisé.

Parmi les "facteurs économiques et sociaux" qu'il faut considérer figurent les coûts encourus pour réduire les doses d'un niveau donné à un niveau plus bas compte tenu des dépenses qu'occasionne généralement la réduction du risque associé à d'autres activités industrielles ou sociales, à l'égard des travailleurs et du public. D'autres facteurs comme la perte d'emplois au cas où il faudrait réduire la dose à un niveau tel que cela obligerait à cesser les activités, doivent aussi entrer en ligne de compte. Néanmoins, quelles que soient les considérations économiques et sociales, personne ne doit être exposé à une dose dépassant les limites réglementaires.

Devant la nécessité de maintenir les doses au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre, on est souvent porté à croire qu'il faut maintenir la dose de chaque personne au niveau le plus bas que l'on puisse atteindre raisonnablement en deça des limites prescrites; néanmoins, dans certains cas, si quelques personnes reçoivent des doses frisant la limite, la "dose collective" sera quand même plus faible que si un nombre disproportionné de personnes recevaient une dose moins importante. Pourvu que les limites prescrites soient respectées, on considère généralement que la protection optimale contre l'irradiation est celle qui permet de minimiser la "dose collective" à un coût raisonnable, car c'est la solution qui fait courir le moins de risque collectif (ou "détriment") à la santé du groupe exposé.

En pratique, il faut tenir compte à la fois de la dose individuelle et de la dose collective pour déterminer le niveau de dose le plus bas qu'il soit possible d'atteindre raisonnablement dans une activité donnée. Si les efforts ne visent qu'à minimiser la dose collective, certains travailleurs pourraient s'approcher de la limite prescrite dès le début de l'année de dosimétrie alors qu'il peut être nécessaire, pour une question d'exploitation et de planification de la main-d'oeuvre, de maintenir la dose bien en-dessous de la limite au début de l'année, pour tous les travailleurs, afin que ces derniers puissent recevoir une dose supplémentaire au cours de l'année, lorsque leur travail les y obligera.

Les procédures de conception et d'exploitation pour maintenir les doses au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre varient selon les circonstances et sont généralement examinées par les spécialistes de la CCEA au cours du processus de délivrance de permis. Plus la possibilité de réduire la dose individuelle et la dose collective grâce à de bonnes procédures de conception et d'exploitation est grande, plus le détenteur de permis ou l'auteur de la demande de permis peut s'attendre qu'on lui demande de faire approuver officiellement ses procédures conformément aux paragraphes 19.(3) à 19.(7) du projet de règlement:

> "(3) La Commission peut, à l'occasion, demander par écrit à tout titulaire de permis ou à tout demandeur de permis de présenter par écrit à la Commission un projet décrivant les méthodes établies ou à établir par ledit titulaire ou ledit demandeur pour se conformer aux dispositions du paragraphe (2).
>
> (4) Toute personne qui reçoit une demande faite conformément aux

dispositions du paragraphe (2) doit faire parvenir ledit projet à la Commission dans un délai de 10 jours après la date de la demande.

(5) Après avoir reçu un projet mentionné au paragraphe (3), la Commission doit considérer la question pour déterminer si les méthodes proposées permettent ou permettront adéquatement ou non à la personne qui a présenté le projet de maintenir les doses au niveau le plus bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu des facteurs économiques et sociaux, et peut

a) approuver le projet; ou

b) sous réserve du paragraphe 6, rejeter le projet et demander qu'un autre projet lui soit présenté.

(6) Dans le cas ou la Commission a approuvé un projet conformément aux dispositions du paragraphe (5), la personne qui a présenté le projet doit sur-le-champ, s'il agit d'un titulaire de permis, ou immédiatement après la délivrance d'un permis, s'il s'agit d'un demandeur de permis, préparer, appliquer, et maintenir les méthodes indiquées dans le projet approuvé jusqu'à ce que la Commission approuve un nouveau projet.

(7) Dans le cas ou la Commission compte rejeter un projet présenté conformément aux dispositions du paragraphe (4) la Commission doit aviser par écrit la personne qui a présenté le projet de sa décision prévue et des motifs de sa décision, et doit, si la demande lui en est faite dans un délai de 15 jours après la signification de l'avis écrit, accorder à ladite personne une occasion raisonnable de se faire entendre."

D'autres facteurs à examiner pour établir le niveau de dose le plus bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre compte tenu de toute circonstance particulière sont exposés à l'article 7 du présent document.

3. TRAVAILLEURS SOUS RAYONNEMENTS ET MEMBRES DU PUBLIC

Les personnes qui, en raison de la nature de leur travail, sont exposées aux rayonnements et pour qui la dose pourrait dépasser 10% de la limite de dose professionnelle, sont considérées comme des "travailleurs sous rayonnements". Cela permet d'assurer qu'ils font l'objet d'une surveillance et d'une protection appropriées, notamment du point de vue du contrôle, de la formation, des

vêtements protecteurs et des méthodes de contrôle spéciales.

Les autres personnes travaillant à l'intérieur ou à proximité de locaux où se trouve une source de rayonnements pourraient être irradiées à l'occasion. Néanmoins, si cette exposition ne constitue pas une des exigences essentielles de leurs fonctions, elles ne devraient pas être considérées comme "travailleurs sous rayonnements" et il faut contrôler leur exposition de façon que la limite de dose pour les membres du public (qui correspond à 10% de la limite pour les travailleurs sous rayonnements) ne soit pas dépassée. Même si l'irradiation occasionnelle des travailleurs constitue, à proprement parler, une "exposition professionnelle", cette expression s'applique généralement aux travailleurs sous rayonnements.

Voici la nouvelle définition donnée dans le projet de règlement:

> "travailleur sous rayonnements" désigne toute personne qui, comme exigence fondamentale de l'exploitation de son entreprise, de son travail ou de son occupation peut, dans le cours de ladite exploitation, dudit travail ou de ladite occupation, recevoir une dose de rayonnement supérieure à toute limite de dose stipulée dans la partie 2 de l'Annexe II". (Le contenu de la partie 2 de l'Annexe II est décrit un peu plus loin à l'article 4.1.)

Cette définition s'applique uniquement aux personnes exposées à un rayonnement ionisant produit par des substances radioactives prescrites et des installations nucléaires, autrement dit, par des sources de rayonnement qui tombent sous le mandat de la CCEA. Cette restriction n'est pas précisée dans la définition de "travailleur sous rayonnements", mais elle découle de la définition de "rayonnement" donnée dans le Règlement.

Deux changements sont proposés à la définition actuelle de façon à la rendre plus précise:

a) l'ajout de l'expression "à cause des exigences professionnelles de son travail" permet d'exclure les personnes qui ne sont exposées qu'à l'occasion, parce que leur lieu de travail est mal situé ou à cause de mauvaises méthodes de contrôle, par exemple (ces personnes sont visées par les limites s'appliquant au membres du public);

b) l'expression "susceptible de recevoir une dose" est remplacée par "pourrait recevoir une dose" parce qu'un grand nombre de personnes considérées à juste titre comme des travailleurs sous rayonnements ne reçoivent généralement pas

de doses supérieures à la limite prescrite dans la Partie 2, autrement dit, elles ne reçoivent généralement pas plus de 10% de la limite de dose pour les travailleurs sous rayonnements. Cependant, si les exigences professionnelles d'un poste laissent entendre qu'une telle personne doive raisonnablement s'attendre à recevoir, au besoin, une dose supérieure au cours de son travail, par exemple à la suite d'activités inhabituelles, il faudrait considérer cette personne comme un travailleur sous rayonnements. En pratique, il est parfois difficile d'établir si la personne en cause tombe ou non sous le coup de l'appellation de "travailleur sous rayonnements". En pareil cas, le détenteur de permis et les spécialistes de la CCEA devront se consulter avant qu'une décision soit prise.

L'article 17 du projet de règlement impose les obligations suivantes aux employeurs de travailleurs sous rayonnements ainsi qu'aux détenteurs de permis, et l'article 19.1 impose certaines obligations aux travailleuses enceintes:

"17.(1) Toute personne qui emploie un travailleur sous rayonnements doit

a) informer sur-le-champ ledit travailleur qu'il est un travailleur sous rayonnements au sens du présent règlement;

b) si ledit travailleur est une femme, l'informer de l'obligation qui lui est imposée en vertu de l'article 19.1;

c) tenir à jour une liste de tous les travailleurs sous rayonnements qu'il emploie; et

d) remettre la liste mentionnée à l'alinéa c) ou une copie de celle-ci à tout inspecteur qui en fait la demande. [L'"inspecteur" est toute personne désignée comme tel conformément au Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique.]

(2) Toute personne qui emploie un travailleur sous rayonnements doit sur-le-champ informer ledit travailleur des risques associés à l'irradiation, y compris les risques aux embryons et aux foetus."

19.1 "Toute femme qui est travailleur sous rayonnements doit, dès qu'elle apprend qu'elle est enceinte, en informer sur-le-champ son employeur."

Le paragraphe 17.(1) vise à assurer que tout travailleur sous rayonnements, homme ou femme, est mis au courant de sa situation comme travailleur sous rayonnements et laisse entendre que l'employeur doit veiller à ce que ses employés sous rayonnements soient suffisamment informés des mesures de radioprotection pertinentes. Néanmoins, tous les travailleurs sous rayonnements

susceptibles d'être exposés à la suite des activités d'un détenteur de permis ne sont pas nécessairement à l'emploi de ce détenteur (les employés des sous-traitants, par exemple). Comme c'est le détenteur de permis qui, en définitive, exerce un contrôle global sur toute exposition aux rayonnements résultant de ses activités, le paragraphe 17.(3) du Règlement étend également au détenteur de permis les obligations imposées à l'employeur au paragraphe 17.(1):

17.(3) "Aux fins du présent article, un travailleur sous rayonnements qui, dans l'exploitation de son entreprise, ou au cours de son travail ou de son occupation, peut recevoir une dose de rayonnements supérieure à toute limite de dose stipulée à la Partie 2 de l'Annexe II en raison de l'utilisation ou de la possession d'une substance prescrite ou de l'exploitation d'un établissement nucléaire par un titulaire de permis, est réputé employé par ledit titulaire de permis."

3.1 Restrictions d'emploi comme travailleur sous rayonnements

Le règlement actuel interdit d'employer toute personne âgée de moins de 18 ans comme travailleur sous rayonnements. On propose de lever cette interdiction parce qu'elle impose des restrictions inutiles aux étudiants et apprentis qui suivent une formation les préparant à travailler dans l'industrie nucléaire.

Le règlement actuel interdit également d'employer une personne "dont le dossier de santé ou d'exposition aux rayonnements est tel que cette personne ne devrait pas être employée comme travailleur sous rayonnements". On propose de supprimer cette interdiction, car il est impossible d'établir des critères d'application suffisamment précis et équitables.

Le règlement actuel contient une troisième interdiction relative aux titres de compétence de l'employé. On propose de la supprimer car il vaut mieux traiter la question dans le cadre des activités régulières de la CCEA relatives à la délivrance des permis et au contrôle de la conformité.

4. LIMITES DE DOSE ET D'INCORPORATION

4.1 Comparaison entre les limites actuelles et les limites proposées

Les nouvelles limites de dose proposées sont exprimées en "millisieverts" (mSv) plutôt qu'en "rem" comme dans le règlement actuel, de façon à adopter le système

international d'unités (SI) suivant la politique du gouvernement du Canada. L'unité de base, le "sievert" (qui équivaut à 100 rem) est trop grande pour s'appliquer aux activités normales de radioprotection si bien que les limites de dose sont exprimées en millisieverts.

Le changement fondamental apporté est le suivant: les tableaux des doses et d'expositions maximales admissibles, figurant dans le règlement actuel pour divers organes et tissus du corps, sont remplacés par une limite unique visant "l'équivalent de dose effectif" (50 mSv par an pour les travailleurs sous rayonnements et 5 mSv par an pour le public) plus deux limites pour "l'équivalent de dose" s'appliquant aux divers organes et tissus pris individuellement (150 mSv par an pour le cristallin et 500 mSv pour les autres organes et tissus dans le cas des travailleurs sous rayonnements et le dixième de ces doses pour le public, sauf en ce qui concerne le cristallin pour lequel la limite annuelle est 50 mSv). Ces limites s'appliquent à la dose totale reçue de sources de rayonnement extérieures, plus la "dose engagée" provenant de substances radioactives absorbées au cours de l'"année de dosimétrie" en question (la dose engagée étant la dose totale provenant d'une substance radioactive absorbée par le corps et accumulée au cours des cinquante années suivant l'absorption de cette substance). Le règlement actuel précise que, pour évaluer la dose, il faut inclure l'apport de sources d'irradiation situées à l'intérieur du corps. Néanmoins, il n'est pas clair quant à savoir si la limite s'applique seulement à la dose reçue au cours de la période de dosimétrie en question, ou à la dose totale, y compris la dose ultérieure provenant de substances radioactives séjournant dans le corps après l'année d'incorporation. Le projet de règlement oblige à tenir compte de la dose engagée pour concevoir et planifier le matériel et les méthodes de contrôle de dose, mais pas nécessairement pour l'établissement des fiches dosimétriques ni pour limiter l'exposition des personnes dont la dose engagée dépasse les limites réglementaires. (Les restrictions concernant l'exposition sont expliquées à l'article 6.)

Le paragraphe 19.(1) du projet de règlement prescrit les nouvelles limites comme suit:

"19.(1) Tout titulaire de permis doit

a) limiter la dose de rayonnement reçue par tout travailleur sous rayonnements en raison de la possession ou de l'utilisation de

substances prescrites ou de l'exploitation d'un établissement nucléaire par un titulaire de permis, aux limites de doses stipulées à la partie 1 de l'Annexe II; et

b) en ce qui concerne toute personne qui n'est pas un travailleur sous rayonnements, limiter la dose de rayonnement reçue par ladite personne en raison de la possession ou de l'utilisation de substances prescrites ou de l'exploitation d'un établissement nucléaire par un titulaire de permis, aux limites de dose stipulées à la partie 2 de l'Annexe II."

Les limites de dose stipulées pour les travailleurs sous rayonnements à la partie 1 de l'Annexe II sont les suivantes:

"1. L'équivalent de dose effectif reçu au cours d'une année de dosimétrie en raison d'une exposition à des sources de rayonnement externes[1] plus l'équivalent de dose effectif engagé[2,3] dû à toutes les substances prescrites qui pénètrent dans le corps au cours de ladite année, ne doit pas dépasser 50 mSv.

2. L'équivalent de dose reçu par tout organe ou tissu[4] au cours d'une année de dosimétrie en raison d'une exposition à des sources de rayonnements externes plus l'équivalent de dose engagé[2,3] à cet organe ou tissu dû à toutes les substances prescrites qui pénètrent dans le corps au cours de ladite année ne doit pas dépasser

a) 150 mSv, pour le cristallin; ou

b) 500 mSv, pour tout autre organe ou tissu.

Limites de doses supplémentaires pour femmes enceintes

L'équivalent de dose à l'embryon ou au foetus au cours de la période de grossesse connue du titulaire de permis doit être limité à 0,6 mSv pour toute période de deux semaines."

Les limites de doses visées dans la partie 2 de l'Annexe II pour les personnes qui ne sont pas des travailleurs sous rayonnements sont les suivantes:

"Les limites de dose doivent correspondre au dixième des limites stipulées à la partie 1 pour les travailleurs sous rayonnements, sauf que l'équivalent de dose au cristallin est limité à 50 mSv."

Les quatre notes de la partie 1 de l'Annexe II (cité ci-dessus) traitent de:

(1) la détermination, à des fins de réglementation, de l'équivalent de dose

effectif en provenance de sources de rayonnements externes, dont il est question au paragraphe suivant;

(2) la détermination, à des fins de réglementation, de "l'équivalent de dose effectif engagé" et "l'équivalent de dose engagé" dû à une substance radioactive introduite dans le corps au moyen d'un calcul basé sur la "limite annuelle d'incorporation", dont il est question plus tard à la section 4.4 du présent document;

(3) les définitions de la limite annuelle d'incorporation pour les travailleurs sous rayonnements et d'autres personnes, aussi bien que les limites d'incorporation pour les produits de filiation du radon et du thoron, dont il est question à la section 4.4; et

(4) la surface de peau à prendre en considération lorsque l'on applique les limites de dose et dont il est question à la section 4.2 du présent document.

Quand une personne est exposée à une source de rayonnement externe, les organes et tissus ne reçoivent pas tous en général exactement la même dose et il est difficile, en pratique, d'établir avec précision comment la dose se répartit dans l'organisme. Par conséquent, on ne peut généralement pas déterminer avec exactitude l'équivalent de dose effectif en additionnant les "équivalents de dose pondérés" pour chaque organe et tissu. En pareils cas, on considère plutôt que l'équivalent de dose établi à l'aide d'un dosimètre étalonné selon une méthode d'étalonnage approuvée par la Commission, représente l'équivalent de dose effectif, comme le stipule la note (1) de l'Annexe II du projet de règlement:

> "L'équivalent de dose effectif provenant de sources externes de rayonnement est réputé équivalent à l'équivalent de dose au corps tel que déterminé par des procédures approuvées par la Commission."

L'"équivalent de dose" et l'"équivalent de dose effectif" dû à des substances radioactives dans le corps peuvent souvent être déterminés par des essais biologiques, mais doivent parfois être déterminés par des calculs estimatifs de l'"exposition" ou de l'"incorporation". L'Annexe II traite de la limitation d'incorporation, y compris celle des produits de filiation du radon, dont il est question à la section 4.4 du présent document.

La limitation de l'"équivalent de dose effectif" a pour but de limiter le risque des "effets stochastiques", soit le cancer et les effets génétiques. L'Annexe I

du présent document explique comment on a établi la valeur limite de 50 mSv.

La limitation de l'"équivalent de dose" a pour but de prévenir les "effets non stochastiques" en limitant l'équivalent de dose reçu par chaque organe ou tissu du corps à une faible fraction de la "dose seuil", soit la dose au-dessous de laquelle il n'y aura pas d'effets non stochastiques et au-dessus de laquelle il y en aura, si la dose seuil est reçue dans un court laps de temps, mais non si elle est reçue sur plusieurs années. La valeur de la dose seuil diffère selon le tissu et l'effet, et est environ de 10 à 40 fois supérieure aux limites fixées pour les travailleurs sous rayonnements et 100 à 400 fois supérieure aux limites fixées pour les membres du public. Il est nécessaire d'établir des limites non stochastiques pour deux raisons:

(1) afin de limiter l'équivalent de dose dans les organes et tissus dont on ne tient pas compte pour établir "l'équivalent de dose efficace", c'est-à-dire, la peau, les yeux, et les extrémités, ainsi que tout autre organe ou tissu dont on n'a pas fixé le facteur de pondération et qui ne figure pas au nombre des "cinq autres organes ou tissus qui reçoivent les équivalents de dose les plus élevés" (le glossaire contient la liste des facteurs de pondération);

(2) afin de limiter les équivalents de dose pour les organes et tissus ayant un facteur de pondération inférieur à 0,1. Le risque que ces organes et tissus soient atteints d'un cancer fatal provoqué par l'irradiation est tellement faible que, selon le principe de l'équivalent de dose efficace, l'équivalent de dose annuel pourrait être supérieur à 500 mSv, mais il semble plus prudent d'imposer une limite générale de 500 mSv par an de façon à ce que les doses restent bien en deça de la dose seuil pour les effets non stochastiques.

Comme l'observation de la limite non stochastique établie pour l'exposition professionnelle protégera non seulement les travailleurs mais également le public, contre les effets non stochastiques, il n'est pas vraiment nécessaire de fixer une limite inférieure pour le public. Néanmoins, cette limite a été établie à un niveau 10 fois plus bas d'abord et avant tout par souci de cohérence avec la limite stochastique pour le public qui équivaut au dixième de la limite stochastique pour l'exposition professionnelle.

La nouvelle limite pour la peau et les extrémités, qui tombe sous le coup de la limite annuelle de 500 mSv stipulée à l'Annexe II pour "tout autre organe ou

tissu", représente une augmentation d'environ 70% de la limite de dose pour la peau et une diminution d'environ 30% de la limite de dose pour les extrémités par rapport au règlement actuel. En agissant ainsi, on a simplement voulu s'aligner sur la limite non stochastique établie pour tous les autres organes et tissus (à l'exception du cristallin). Le risque de décès dû au cancer de la peau est négligeable comparé au risque de décès dû au cancer d'autres organes et c'est pour cette raison qu'aucun facteur de pondération pour la peau n'a été établi pour déterminer l'équivalent de dose effectif. (S'il faut un facteur de pondération pour évaluer le "détriment" lié à l'exposition de la peau, sa valeur est de 0,01 tel qu'indiqué dans la référence 2a.)

Le paragraphe 19.(8) du projet de règlement stipule que toutes les doses qu'un travailleur sous rayonnements a reçues au cours d'une année donnée, dans l'exercice de ses fonctions, doivent être comprises dans l'application des limites de dose. Cette disposition doit permettre de s'assurer que la dose professionnelle totale reçue par les personnes qui changent d'emploi en cours d'année ne dépassera pas les limites réglementaires. Néanmoins, le détenteur de permis ne pourra pas toujours obtenir la fiche dosimétrique d'un employé d'un ancien employeur pour l'année en question. Comme on ne veut pas pénaliser le détenteur de permis si un de ses employés dépasse la limite de dose prescrite parce qu'il a été exposé à des rayonnements au cours d'un travail à l'emploi d'un détenteur de permis différent dont on n'a pas pu obtenir un fichier dosimétrique pour l'employé en question, le paragraphe 19.(9) stipule qu'aucun détenteur de permis ne peut être accusé d'avoir enfreint le Règlement "s'il ne disposait pas des moyens raisonnables de déterminer la dose de rayonnement reçu par un travailleur sous rayonnements avant" que ce travailleur soit à son service.

En principe, toute exposition professionnelle aux rayons X devrait être également indiquée dans les fiches dosimétriques des travailleurs sous rayonnements, mais comme les rayons X (à l'exception de ceux qui sont produits par des installations nucléaires ou des substances radioactives prescrites) ne sont pas réglementés par la CCEA, mais par les provinces, le Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique n'en fait pas mention. En pratique, l'exposition professionnelle aux rayons X aussi bien qu'aux autres types de rayonnements ionisants pendant une même année de dosimétrie n'est pas très fréquente et aucun cas de dose excessive attribuable à une forte exposition aux deux types de rayonnements n'a été signalé jusqu'ici. Néanmoins, cela pourrait poser un

problème, dans les services de radiographie, par exemple, et si c'était le cas, il faudrait envisager d'autres mécanismes de réglementation pour y remédier.

Le projet de règlement ne fixe que les limites de dose annuelles (sauf pour les femmes enceintes) alors que le règlement actuel fixe également les limites de dose trimestrielles pour les travailleurs sous rayonnements. On propose de supprimer les limites trimestrielles parce qu'elles servent plutôt comme mesure de contrôle pratique qu'à la réduction des risques pour la santé, étant donné que les effets biologiques d'une dose égale à la limite de dose annuelle sont à peu près les mêmes, que l'irradiation ait lieu en une fois ou qu'elle soit répartie sur une année. Néanmoins, si le travailleur reçoit une fraction importante de la limite de dose annuelle dans un court laps de temps, cela peut révéler de mauvaises méthodes ou des failles dans le système de contrôle. La situation pourrait alors faire l'objet d'une enquête dans le cadre du processus général de délivrance de permis et de contrôle de la conformité.

4.2 Calcul de la dose moyenne en cas d'exposition non uniforme

En général, les limites de dose s'appliquent à la dose moyenne reçue par les divers organes et tissus du corps, ce qui ne présente aucun inconvénient tant que la dose se répartit assez uniformément dans l'organe ou le tissu en particulier. Quand la totalité du corps ou de la peau est irradiée plus ou moins uniformément, par exemple quand le corps est exposé à un champ de rayons gamma, ou la peau à un champ de rayons bêta ou gamma, il est généralement suffisant d'utiliser la lecture d'un dosimètre individuel étalonné conformément à une méthode d'étalonnage approuvée par la Commission comme indicateur de la dose au corps entier ou à la totalité de la peau, respectivement. Cependant, en cas d'irradiation non uniforme assez importante, il faudra tenir compte des circonstances de l'exposition.

La peau est un organe qui est souvent irradié d'une façon qui est loin d'être uniforme; en pareil cas, la limite de dose doit s'appliquer à la partie de la peau qui reçoit la dose la plus élevée comme le stipule la note 4 de l'Annexe 2 du projet de règlement:

> "La limite de dose à la peau s'applique à la couche de cellules basales de l'épiderme. Si la peau est irradiée de façon non uniforme, la limite de dose s'applique
>
> a) à la dose moyenne à 100 cm^2 de peau dans la région du corps qui a reçu

la dose la plus forte; ou

b) à la dose moyenne à 1 cm^2 de peau dans la région du corps qui a reçu la dose la plus forte, si la région irradiée est de beaucoup inférieure à 100 cm^2.

Si la superficie irradiée est nettement inférieure à 1 cm^2 et que l'exposition est très intense, la limite de dose revêt moins d'importance et il faut avant tout évaluer la possibilité de lésions locales et obtenir les soins médicaux appropriés.

La tête peut parfois être exposée davantage que le reste du corps. Néanmoins, dans la plupart des cas, il convient de considérer l'exposition de la tête comme une exposition de tout le corps aux fins de contrôle des doses et de conformité aux limites de doses. Si, toutefois, la tête est régulièrement exposée beaucoup plus que le reste du corps, il est possible d'établir une limite de dose suivant le concept de l'équivalent de dose effectif (autrement dit, en limitant le risque d'effets stochastiques pour la tête dans la même mesure que pour le corps entier auquel on applique la limite annuelle de 50 mSv). Pour un tissu, le risque stochastique est plus ou moins proportionnel au pourcentage de tissu irradié et, comme la tête ne contient qu'une fraction des os et de la moëlle du corps, une fraction seulement de chaque facteur de pondération devrait servir à calculer l'équivalent de dose effectif. Si l'on prend 10% des facteurs de pondération s'appliquant aux os et à la moëlle rouge (1/10 de 0,03 + 0,12) et si l'on y ajoute les facteurs de pondération pour la thyroïde et cinq autres organes ou tissus quelconques de la tête (0,03 + 5 x 0,06), cela donne, pour la tête, un facteur de pondération de 0,345. (Ces facteurs de pondération ainsi que le concept des "cinq autres organes" sont extraits du tableau inclus dans la définition de "facteur de pondération" dans le glossaire.) En divisant la limite de 50 mSv a^{-1} établie pour l'équivalent de dose effectif par ce facteur de pondération composé de 0,345, on obtient une valeur de près de 150 mSv a^{-1} pour la limite d'équivalent de dose s'appliquant à la tête (ce qui correspond à peu près à la limite non stochastique pour le cristallin).

4.3 Avantages de l'équivalent de dose effectif et répercussions sur la limitation de la dose aux divers organes

L'avantage principal d'exprimer la limite de dose fondamentale en unités d'équivalent de dose effectif est que l'exposition aux rayonnements est alors

limitée de telle façon que le risque "d'effets stochastiques" est le même quelle que soit la répartition de la dose dans le corps. Jusqu'à maintenant les limites de dose pour les divers organes et tissus n'étaient pas entièrement satisfaisantes parce qu'elles avaient été élaborées sans liens entre elles et de façon plus ou moins arbitraire sur un certain nombre d'années, si bien que la gravité du risque associé aux limites variait d'un organe ou d'un tissu à l'autre. D'autre part, les limites fixées posaient également un problème parce qu'elles visaient avant tout à limiter la dose reçue par "l'organe critique" (généralement l'organe ou le tissu recevant la dose la plus élevée) et par conséquent centraient l'attention sur l'organe ou le tissu qui recevait la fraction la plus large de sa limite de dose, sans tenir suffisamment compte des doses reçues par les autres organes et tissus. L'utilisation de l'équivalent de dose effectif comble ces deux lacunes, premièrement, en tenant compte de la sensibilité des divers organes et tissus aux effets stochastiques de l'irradiation grâce aux facteurs de pondération énumérés dans le glossaire; et, deuxièmement, en limitant l'équivalent de dose effectif (qui correspond à la somme des "équivalents de dose pondérés") à une valeur unique de 50 mSv par an pour les travailleurs sous rayonnements et au dixième de cette valeur pour le public.

L'équivalent de dose effectif permet également de mieux évaluer les conséquences globales de la libération de mélanges de substances radioactives dans l'environnement; il permet en outre de limiter de façon plus cohérente les doses reçues par les travailleurs des mines d'uranium et des usines de fabrication de combustibles, ainsi que les autres personnes qui sont régulièrement exposées à des sources de rayonnement et internes et externes.

L'une des conséquences de l'utilisation de l'équivalent de dose effectif de pair avec la même limite de dose pour le corps entier comme dans le règlement actuel, (50 mSv a^{-1} pour les travailleurs sous rayonnements), c'est que les divers organes et tissus pourraient, en principe, recevoir une dose supérieure à celle qu'autorise le règlement actuel. Même si le projet de règlement ne précise pas quelles sont les "limites stochastiques" pour chacun des organes et tissus, on peut les calculer en divisant la limite pour l'équivalent de dose effectif par le "facteur de pondération" correspondant. Ces limites stochastiques dérivées ainsi que les "limites non stochastiques" prépondérantes pour les divers organes ou tissus sont supérieures aux doses autorisées dans le règlement actuel, sauf pour le cristallin où la limite professionnelle demeure inchangée. (La limite

pour le corps entier reste également la même, puisque la limite de l'équivalent de dose est numériquement égale à la limite de l'équivalent de dose effectif étant donné que son facteur de pondération est de 1,0 soit la somme des facteurs de pondération pour chacun des organes et tissus.) En pratique, un organe ou tissu est rarement exposé seul et, comme la notion d'équivalent de dose effectif a pour but de limiter la somme des équivalents de dose pondérés provenant de toutes les sources de rayonnement importantes, l'équivalent de dose pour un organe ou tissu n'atteindrait pas sa "limite dérivée" dans la plupart des cas. En fait, comme la somme des doses pondérées provenant de toutes les sources de rayonnement doit être limitée, la dose autorisée sera inférieure dans le cas de plusieurs activités, à celle que prescrit le règlement actuel.

Si seuls les poumons étaient irradiés, la limite annuelle pour l'équivalent de dose serait 420 mSv (50 mSv divisé par un facteur de pondération de 0,12), ce qui représente une augmentation par rapport aux 15 rem (150 mSv) du règlement actuel. Cependant, seuls les travailleurs employés à la fabrication de combustibles ou à l'extraction et à la concentration de l'uranium sont régulièrement exposés à une irradiation importante des poumons, et on ne pourrait généralement pas laisser la dose aux poumons atteindre la limite dérivée, car le corps entier est exposé en même temps à des rayons gamma. En outre, dans ce genre de travail, la dose aux poumons provient surtout de substances inhalées émettant des rayons alpha et le "facteur de qualité" que la CIPR recommande maintenant pour les rayons alpha est de 20 (au lieu de 10 précédemment)(2).

Par conséquent, même si la nouvelle limite de dose dérivée pour les poumons est presque trois fois plus élevée qu'auparavant, le facteur de qualité a doublé et a entraîné une diminution de moitié de la "limite d'incorporation" (voir 4.4) pour les substances émettant des rayons alpha. Ces deux changements ont pour effet net d'accroître de 40% la limite d'incorporation des substances émettant des rayons alpha. Dans les mines, l'exposition des poumons est surtout attribuable à l'inhalation de produits de filiation du radon et du thoron que l'on contrôle par une limite d'incorporation, expliquée au 4.4.

4.4 Limites d'incorporation, y compris pour les produits de filiation du radon et du thoron

4.4.1 Dispositions générales

Les doses de rayonnement que le corps reçoit en provenance de substances

radioactives contenues dans l'air, l'eau ou les aliments, sont généralement limitées en restreignant la quantité de telles substances qui entrent dans le corps à la "limite annuelle d'incorporation" (LAI). Il est possible de déterminer parfois la dose reçue en mesurant la quantité de substances radioactives dans les excrétions, ordinairement l'urine, ou en mesurant les rayonnements qu'émet le corps, grâce à un détecteur de rayonnements placé à l'extérieur du corps. Cependant, il n'est pas toujours possible de déterminer la dose grâce à ce genre de relevés et, en pareils cas, la dose peut être déterminée en confrontant l'incorporation calculée et la LAI.

On fait état de deux catégories fondamentales de LAI: l'une, qui vise à limiter les "effets stochastiques", et l'autre, à prévenir les "effets non stochastiques". A chaque type fondamental de LAI correspondent des valeurs différentes pour les travailleurs sous rayonnements et les membres du public et des valeurs différentes pour l'inhalation et l'ingestion. Les valeurs LAI visant à limiter les "effets stochastiques" représentent les quantités de substance radioactive incorporées qui résulteront en un équivalent de dose effectif engagé de 50 mSv pour les travailleurs sous rayonnements et de 5 mSv pour les membres du public. Les valeurs LAI visant à prévenir les "effets non stochastiques" correspondent aux quantités de substance incorporées qui résulteront en un équivalent de dose engagé pour un organe ou tissu de 500 mSv ou 50 mSv, selon qu'il s'agit de travailleurs sous rayonnements ou de membres du public.

La LAI établie pour les travailleurs sous rayonnements peut servir de repère quand l'incorporation se fait par ingestion, notamment pour le calcul de la dose; mais en pratique, il est peu probable qu'on permette à un travailleur d'ingérer la totalité de la LAI. La plupart du temps, c'est en consommant de la nourriture et de l'eau contaminée que le travailleur ingère des substances radioactives, mais il n'y a généralement pas de raison que la nourriture ou l'eau soit contaminée à un point tel qu'un travailleur puisse ingérer une fraction importante de la LAI professionnelle.

L'un des usages les plus courants du concept de la LAI en radioprotection au travail est de limiter la dose que reçoivent les travailleurs des mines d'uranium par inhalation des "produits de filiation du radon et du thoron". Cette limitation s'opère généralement en restreignant l'"exposition",

c'est-à-dire la concentration de produits de filiation du radon dans l'air multipliée par la durée d'exposition. Le règlement actuel définit les "expositions maximales admissibles" en ce qui concerne les produits de filiation du radon (1), tandis que le projet de règlement indique des limites d'incorporation. Limites d'exposition et limites d'incorporation s'équivalent foncièrement en pratique, mais la limitation d'incorporation représente un concept plus fondamental dans la mesure où la dose (qui constitue la quantité de première importance ici) est directement proportionnelle à l'incorporation, tandis que le rapport direct entre la dose et l'exposition dépend d'un rythme respiratoire repère supposé. La note (2) de l'Annexe II du projet de règlement traite des limites d'incorporation:

> "s'il n'est pas pratique de mesurer ou de calculer, en mesurant les rayonnements en provenance du corps ou des excrétions, l'équivalent de dose effectif engagé ou l'équivalent de dose engagé dû à une substance prescrite introduite dans le corps, l'équivalent de dose effectif engagé ou l'équivalent de dose engagé attribuable à ladite substance prescrite devra correspondre à la proportion entre l'incorporation de ladite substance prescrite au cours de l'année de dosimétrie et la limite annuelle d'incorporation appropriée pour ladite substance prescrite, multipliée par
>
> a) 50 mSv pour les travailleurs sous rayonnements ou 5 mSv pour les personnes autres que les travailleurs sous rayonnements, dans le cas de l'équivalent de dose effectif engagé; et
>
> b) 500 mSv pour les travailleurs sous rayonnements ou 50 mSv pour les personnes autres que les travailleurs sous rayonnements, dans le cas de l'équivalent de dose engagé à un organe ou tissu."

Les limites annuelles d'incorporation pour les travailleurs sous rayonnements et autres personnes sont définies dans la note (2) de l'Annexe II du projet de règlement:

> "La limite annuelle d'incorporation pour les travailleurs sous rayonnements correspond à la quantité de substance prescrite introduite le corps au cours d'une année de dosimétrie qui se traduira par un équivalent de dose effectif engagé de 50 mSv ou par un équivalent de dose engagé à un organe ou tissu de 500 mSv. La limite annuelle d'incorporation des produits de filiation du radon et du thoron doit être de 0,02 joule et 0,06 joule respectivement, si
>
> a) pour les produits de filiation du radon, une exposition de 800 unités alpha-heures est réputée équivalente à une incorporation de 0,02 joule, et

b) pour les produits de filiation du thoron, une exposition de 2 400 unités alpha-heures est réputée équivalente à une incorporation de 0,06 joule.

La limite annuelle d'incorporation pour les personnes autres que les travailleurs sous rayonnements correspond à la quantité de substance prescrite introduite dans le corps au cours d'une année de dosimétrie qui se traduira par un équivalent de dose effectif engagé de 5 mSv ou par un équivalent de dose engagé à un organe ou tissu de 50 mSv."

Le fait d'inclure les deux définitions de la LAI dans le projet de règlement libère du besoin d'indiquer les milliers de valeurs de LAI différentes en ce qui a trait à l'inhalation et à l'ingestion de substances radioactives par les travailleurs sous rayonnements, de même que par les particuliers en général, qu'ils soient adultes ou enfants. Il existe néanmoins une exception pour les produits de filiation du radon et du thoron, parce qu'ils se présentent généralement sous forme de mélanges de radionucléides tandis qu'on dérive normalement la LAI, exprimée en becquerels par année, pour les radionucléides simples. Au lieu de déterminer la quantité de chaque radionucléide inhalé quand une personne est exposée à un mélange de produits de filiation du radon ou du thoron dans l'air, il est plus commode de déterminer l'"énergie potentielle alpha", exprimée en "joules" (J) du mélange inhalé. En pratique, les concentrations de produits de filiation du radon et du thoron sont mesurées en "unités alpha" ou "working levels" (WL) et la durée d'exposition est comptée en heures; par conséquent, le projet de règlement fait aussi état de limites d'"exposition" exprimées en "unités alpha-heures" ou "working level hours" (WLh). Dans le règlement actuel, les limites d'exposition aux produits de filiation du radon sont exprimées en "unités alpha-mois" ou "working level months" (WLM), mais cet emploi a occasionné une certaine confusion lorsque l'on comparait les expositions des travailleurs et les expositions des membres du public, parce qu'on ne savait pas toujours très clairement s'il s'agissait d'un mois de travail (170 heures) ou d'un mois civil (730 heures en moyenne). Le projet de règlement ne parle donc que de WLh (1 WLM = 170 WLh). L'Annexe 2 du présent document donne la conversion entre les mesures d'exposition et les mesures d'incorporation.

Les limites annuelles d'incorporation calculées en fonction d'un "homme de référence" figurant dans la publication 30 de la CIPR (5) correspondent aux définitions dans le projet de règlement relatives aux travailleurs sous

rayonnements et peuvent donc servir généralement de guide pour déterminer si l'on respecte les limites de dose. Un dixième des valeurs de la LAI peut s'appliquer la plupart du temps au public adulte, mais il faut établir une limite inférieure pour les enfants qui reçoivent généralement une dose plus grande par unité d'incorporation de plusieurs substances radioactives. Ce critère du dixième de la LAI s'applique également aux limites d'"incorporation" des produits de filiation du radon et du thoron (par exemple, 1/10 de 0,02 Ja^{-1} pour les produits de filiation du radon), mais on aurait besoin de modifications supplémentaires de la limite d'"exposition" correspondante pour tenir compte du rythme respiratoire moyen inférieur des membres du public pendant leur exposition quotidienne de 24 heures par rapport au rythme respiratoire des travailleurs sous rayonnements pendant les 40 heures hebdomadaires de leur exposition professionnelle. (Le rythme respiratoire moyen à la maison est seulement environ la moitié ou moins du rythme respiratoire au travail, parce que le rythme respiratoire est relativement bas lorsqu'on est assis ou couché.)

Le règlement actuel stipule une limite de concentration annuelle moyenne des produits de filiation du radon à 0,02 WL pour les membres du public exposés à des produits de filiation du radon en provenance des installations nucléaires. Le projet de règlement ne parle plus d'une telle limite de concentration parce qu'elle devient désuète dès qu'on applique le critère du dixième de la LAI à la limite d'"incorporation" plutôt qu'à la limite d'"exposition".

4.4.2 Fondement des limites d'incorporation des produits de filiation du radon et du thoron

La limite annuelle de 0,02 joule pour les produits de filiation du radon a été fixée en tenant compte des études épidémiologiques du cancer du poumon menées auprès des travailleurs des mines d'uranium et de la dose de rayonnement que les poumons reçoivent par inhalation des produits de filiation. Les méthodes de calcul tiennent compte de la répartition de la dose à l'intérieur des poumons, de même que de la profondeur variable des cellules bronchiques qui compte parmi les paramètres les plus sensibles. La limite pour les produits de filiation du thoron est basée sur la comparaison entre les doses aux tissus des poumons et autres organes par une incorporation d'"énergie potentielle alpha" due aux produits de filiation du thoron, et les doses correspondantes dues à une incorporation égale de produits de filiation du radon, puisqu'il n'existe aucune

donnée épidémiologique pour les produits de filiation du thoron. Pour une incorporation d'"énergie potentielle alpha" égale, l'"équivalent de dose effectif" pour les produits de filiation du thoron équivaut seulement au tiers de celui pour les produits de filiation du radon et, par conséquent, la limite pour les produits de filiation du thoron est trois fois plus élevée que la limite pour les produits de filiation du radon.(3)

De nombreux organismes, dont le Comité consultatif sur la radioprotection de la CCEA, ont étudié les données épidémiologiques et obtenu des résultats similaires (3,6,7,9, voir Tableau 1). La CIPR a signalé que le risque pour la santé que l'on a pu identifier à partir de ces données et que l'on associe en général uniquement aux produits de filiation du radon comprend également celui qui provient des rayonnements gamma et du radon, ainsi que des autres substances cancérigènes auxquelles les travailleurs des mines d'uranium sont exposés. Par conséquent, les risques généralement associés aux produits de filiation du radon dans les mines d'uranium sont surestimés par rapport au risque des seuls produits de filiation du radon. En outre, la CIPR a fait état du peu de fiabilité des données concernant l'exposition des mineurs morts d'un cancer du poumon, ajoutant qu'en réalité, ils avaient peut-être été davantage exposés que ne l'indiquaient les valeurs estimatives utilisées dans les études épidémiologiques. Par conséquent, le risque a probablement été surestimé dans les études épidémiologiques et les limites qui en découlent apparaissent donc comme prudentes.(3)

Étant donné l'incertitude qui entoure les données d'exposition, la CIPR a tenu compte autant des études épidémiologiques que des doses de rayonnements aux tissus des poumons et autres organes dues aux produits de filiation inhalés, pour préconiser une limite d'incorporation des produits de filiation du radon. Le Tableau 2 indique les différentes limites d'incorporation qui découlent des considérations dosimétriques et épidémiologiques. La limite de 0,02 Ja^{-1} que la CIPR recommande se situe près du sommet de la gamme des limites qui découlent des données épidémiologiques (en accord avec la surestimation supposée du risque par unité d'exposition) et à la base de la gamme des limites qui découlent des considérations dosimétriques. Une fois que tous les facteurs sont considérés, une LAI de 0,02 J pour les produits de filiation du radon apparaît comme un équivalent raisonnable de la limite d'équivalent de dose effectif de 50 mSv. Le projet de règlement indique donc cette valeur, mais la CCEA, prudente face aux incertitudes qui restent, étudie toujours la question à la lumière des données biologiques, épidémiologiques et autres qui lui parviennent.

TABLEAU 1

FACTEURS DE RISQUE POUR L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE AUX PRODUITS DE FILIATION DU RADON*

Source	Risque à vie** pour 10^4 WLM
UNSCEAR 1977 (référence 6) selon des données de Tchécoslovaquie et de Suède selon des données des États-Unis (Colorado)	 2 à 4,5 0,7
BEIR 1980 (référence 8)	2 à 6
CIPR 1981 (référence 3)	1,5 à 4,5
Thomas & McNeill 1982 (d'après la référence 9)	0,5 à 12
Sous-comité sur l'évaluation des risques (référence 9)	1 à 6

* Adapté à partir de la référence 9
** Risque à vie = risque par année pour 10^4 WLM-personnes multiplié par 30 ans

TABLEAU 2

LIMITES POUR LES PRODUITS DE FILIATION DU RADON CORRESPONDANT À UN ÉQUIVALENT DE DOSE EFFECTIF DE 50 mSv

Fondement de la limite	Limite annuelle d'incorporation*	Limite annuelle d'exposition**	
	JOULES	WLM	WLh
Épidémiologie	0,0075 à 0,023	1,8 à 5.4	300 à 920
Équivalent de dose pondéré aux tissus bronchiques***	0,02 à 0,05	4,7 à 12	800 à 2000
Équivalent de dose pondéré aux poumons entiers***	0,042 à 0,059	9,9 à 14	1680 à 2360

* D'après la référence 3.
** D'après les valeurs de la LAI de la colonne précédente, en utilisant les facteurs de conversion qui figurent à l'Annexe 2.
*** Pour déterminer les équivalents de dose pondérés, on a utilisé un facteur de pondération de 0,12 pour les poumons entiers et de 0,06 pour les tissus bronchiques. Pour calculer les équivalents de dose, on a utilisé un facteur de qualité de 20 pour les particules alpha, qui apparaît comme une valeur prudente pour l'irradiation des tissus pulmonaires.

La limite de 0,02 J équivaut à environ 4,7 WLM, comme l'indique le Tableau 2, tandis que le règlement actuel fixe la limite à 4,0 WLM. Toutefois, on a appliqué la limite de 4,0 WLM jusqu'à maintenant, indépendamment de l'exposition à d'autres sources de rayonnement, tandis que la nouvelle limite pour les produits de filiation du radon doit s'appliquer à l'intérieur du concept de l'"équivalent de dose effectif" selon lequel il faut tenir compte de toutes les sources de rayonnement importantes, y compris les rayonnements gamma et dans certains cas, les produits de filiation du thoron et peut-être même les poussières d'uranium et de thorium. Ces différences pratiques entre les limites actuelles et les limites proposées découlent de leur principe même, ainsi que des conditions radiologiques des mines actuelles bien ventilées par rapport aux mines plus anciennes où les sujets des études épidémiologiques ont été exposés. Bien que les produits de filiation du radon aient seuls été considérés explicitement au temps de ces mines plus anciennes, les autres sources de rayonnement (rayons gamma, radon, uranium et autres substances radioactives dans les poussières de minerai) étaient quand même présentes et entrent donc implicitement en ligne de compte dans la limite pour les produits de filiation du radon si les conditions sont semblables à celles qui existaient dans les mines plus anciennes. Toutefois, le rayonnement gamma n'entrerait en ligne de compte qu'en partie dans l'application dans les mines actuelles bien ventilées de la limite pour les produits de filiation du radon déterminée à partir de données épidémiologiques, parce que le rayonnement gamma ne varie que très peu à cause de l'aérage, tandis que les produits de filiation du radon décroissent beaucoup sous l'effet de l'aérage. Par conséquent, la proportion du débit de dose gamma par rapport à la concentration de produits de filiation du radon augmente en fonction de l'amélioration de la ventilation. D'autre part, les concentrations d'uranium en suspension dans l'air auraient sans doute diminué davantage que les concentrations de produits de filiation du radon à cause des améliorations apportées autant au système d'aérage qu'aux mesures de dépoussiérage; c'est ainsi que l'application de la limite pour les produits de filiation du radon déterminée à partir de données épidémiologiques ferait plus que tenir compte de la dose reçue par inhalation des poussières de minerai.

Comme la nouvelle limite pour les produits de filiation du radon recommandée par la CIPR est fondée à la fois sur le principe de l'"équivalent de dose effectif" et sur des données épidémiologiques, il existe moins de raisons pour supposer que la nouvelle limite tient compte implicitement de l'exposition à d'autres sources de rayonnements. Il faut donc accorder une plus grande attention à ces

autres sources. On devrait contrôler, par exemple, les concentrations de poussières de minerai en suspension dans l'air pour déterminer la gamme des concentrations dans chaque mine. On pourrait être amené ainsi à tenir compte de la dose due aux poussières de minerai, à cause de l'existence de concentrations anormalement élevées, quand on applique la limite de l'équivalent de dose effectif. Dans la même ligne de pensée, si l'on porte un appareil respiratoire à filtre ou si l'air de la mine est filtré et redistribué, les concentrations de radon ou de thoron pourraient s'accumuler jusqu'à des niveaux assez élevés pour qu'on doive en tenir compte lorsqu'on évalue l'équivalent de dose effectif. Dans le cas du rayonnement gamma, comme plusieurs travailleurs des mines d'uranium reçoivent des doses de l'ordre de 10 mSv par année, soit 20% de la limite d'équivalent de dose effectif, leur exposition aux produits de filiation du radon serait limitée en pratique à environ 80% de la limite pour les produits de filiation du radon, autrement dit à environ 3,8 WLM (0,8 x 4,7). L'article 5.1 du présent document traite des facteurs à considérer lorsqu'on détermine si l'importance de chaque source de rayonnement est suffisante pour qu'on doive en tenir compte dans le calcul de l'équivalent de dose effectif.

4.5 Considérations spéciales à l'égard des femmes en état de procréer

Comme il peut s'écouler plusieurs semaines avant qu'une femme sache qu'elle est enceinte, il faut considérer quels sont les risques pour la santé de son futur enfant si cette femme reçoit une dose de rayonnements atteignant la limite de dose professionnelle normale pendant qu'elle est enceinte sans le savoir. (Une fois la grossesse confirmée, il faut appliquer une limite spéciale, comme l'explique l'article 4.6.) L'irradiation d'un embryon ou d'un foetus peut provoquer diverses anomalies qui se produisent aussi naturellement, par exemple, malformation, déficience mentale ou cancer infantile. Le type de lésion et sa probabilité dépendent de la dose de rayonnements et du stade de la grossesse. Si l'embryon ou le foetus reçoit une certaine dose de rayonnements pendant la période d'organogénèse principale (de deux à huit semaines après le début de la grossesse), le risque de malformation sera plus important que si la même dose est répartie sur toute la durée de la grossesse. Néanmoins, le risque de cancer demeure comparable, que la dose soit reçue en une fois ou répartie sur une période de plusieurs semaines ou plusieurs mois. Comme le risque de cancer infantile peut être beaucoup plus élevé que le risque de malformation, l'ensemble des risques d'anomalie et de cancer n'est pas vraiment sensible au débit de dose quand la dose est aussi faible que 50 mSv.(10)

Il est prudent de supposer, du point de vue de la radioprotection, que toute dose de rayonnements peut avoir des effets nocifs sur l'embryon ou le foetus. Par conséquent, il faut prendre toutes les précautions raisonnables pour minimiser l'exposition des femmes susceptibles d'être enceintes. Le règlement actuel impose des limites spéciales du débit de dose pour toutes les femmes en état de procréer, peu importe si ces dernières ont des raisons ou non de croire qu'elles peuvent être enceintes. La limite annuelle de 50 mSv (5 rem) est la même pour les hommes et les femmes, mais le débit auquel cette dose peut s'accumuler au cours d'une année de dosimétrie est limité davantage pour les femmes que pour les hommes de façon à réduire la dose maximale qui peut être reçue au cours de toute étape d'une grossesse éventuelle. Les limites de débit de dose actuelles sont de 0,2 rem ou 2 mSv par deux semaines pour les femmes, alors qu'il n'y a pas de limite de deux semaines pour les hommes, et de 1,3 rem ou 13 mSv par trimestre, au lieu de 3 rem par trimestre pour les hommes. La limite de deux semaines ne revêt aucune signification biologique spéciale en soi; elle représente seulement la quantification d'une suggestion faite par la CIPR (2) pour contrôler les expositions des femmes en état de procréer de telle façon que toute exposition nécessaire due aux rayonnements soit reçue selon un débit assez uniforme. La limite de deux semaines a donc été fixée au prorata de la limite annuelle et, si l'on a choisi une période de deux semaines, c'est simplement parce qu'il s'agit de la période de rapport la plus courte couramment utilisée par les principaux services de dosimétrie.

Les limites spéciales fixées pour les femmes ont cependant l'inconvénient d'écarter ces dernières de certains postes qui comportent une exposition professionnelle aux rayonnements, parce qu'on jugeait que ce genre de travail pourrait les exposer à des débits de dose supérieurs aux limites réglementaires fixées pour les femmes, soit 2 mSv par deux semaines et 13 mSv par trimestre. La Commission canadienne des droits de la personne a donc demandé à la CCEA s'il était vraiment nécessaire de limiter davantage le débit de dose s'appliquant aux femmes. La CCEA a soumis la question à ses conseillers médicaux et à son Comité consultatif sur la radioprotection (CCRP). L'examen des données médicales et biologiques, ainsi qu'un certain nombre d'autres considérations, ont permis de tirer les conclusions suivantes:

i) la probabilité qu'une dose de rayonnements de quelques dizaines de millisieverts ait des effets nocifs sur un embryon ou un foetus est d'environ 1 sur 10 000 par mSv ou 1 sur 1 000 par rem (10, 11);

ii) les femmes disposent de divers moyens de contraception et les

travailleuses ont tendance à planifier leur grossesse; par conséquent, le risque de grossesse imprévue qui ne serait pas décelée en-deça d'une période de deux mois est plutôt faible chez les femmes qui travaillent;

iii) il est très improbable qu'une femme reçoive en pratique une forte dose de rayonnements lorsqu'elle est enceinte sans le savoir; les rares titulaires de permis dont les activités peuvent exposer une personne à de fortes doses de rayonnements appliquent généralement des mesures de contrôle qui empêchent de recevoir une forte dose pendant une courte période de temps.

Compte tenu de tous ces facteurs et d'un certain nombre d'autres, les conseillers médicaux et le CCRP ont conclu que des limites de débits de dose plus strictes pour les femmes que pour les hommes étaient injustifiées, à moins qu'on ne sache que la femme est enceinte.

Conformément aux conclusions qui précèdent, on a supprimé du projet de règlement les restrictions particulières s'appliquant aux femmes en état de procréer, mais on a conservé les restrictions s'appliquant aux femmes enceintes, comme l'explique l'article 4.6. Cette modification aurait pour conséquence, entre autres, de permettre à une femme qui pourrait être enceinte de recevoir, au cours de la même journée, une dose prévue aussi élevée que la limite de dose annuelle de 50 mSv, mais il est très improbable que la situation se produise en pratique.

Le risque d'effets nocifs sur l'embryon ou le foetus porté par une femme qui est exposée chaque année à une dose s'approchant de la limite annuelle est de 1 à 10 par million, étant donné qu'une femme risque fort peu d'être irradiée lorsqu'elle est enceinte sans le savoir. À titre de comparaison, au moins 9% de la totalité des enfants souffrent, à un moment quelconque de leur vie, d'une maladie ou d'un handicap grave d'origine génétique (12). Environ le tiers de ces maladies ou handicaps, soit au moins 3% de toutes les naissances, sont du même type que ceux qui peuvent résulter de l'exposition aux rayonnements (10). Autrement dit, la fréquence normale de ces anomalies est de 30 000 à 90 000 par million de bébés naissants vivants.

En pratique, rares sont les travailleurs sous rayonnements qui seront exposés à un risque aussi élevé, soit de 1 à 10 par million, tandis qu'un grand nombre de femmes en général peuvent profiter de possibilités d'emploi plus vastes dans l'industrie nucléaire. On a donc conclu que des restrictions spéciales de

débits de dose s'appliquant à toutes les femmes en état de procréer ne pouvaient se justifier. Compte tenu du risque radiologique qui est faible par rapport aux autres risques associés à la grossesse, il semble plus normal de laisser chaque femme décider si elle préfère ou non éviter de s'exposer aux rayonnements, ce qui correspond davantage à l'attitude de la société d'aujourd'hui à l'égard des droits et des responsabilités de l'individu, plutôt que d'imposer à toutes les femmes des restrictions particulières. L'employeur doit renseigner les femmes sur tous les risques qu'elles courent afin de leur permettre de prendre la bonne décision et c'est ce que prévoit le projet de règlement, comme on peut le voir à l'article 4.6 du présent document.

4.6 Limite de débit de dose pour les femmes enceintes

Les risques résultant de l'exposition d'un embryon ou d'un foetus aux rayonnements sont les mêmes, que l'on sache ou non que la femme est enceinte, mais comme on a toujours tendance à se soucier davantage des risques reconnus que des risques possibles, les restrictions sont plus strictes pour les femmes que l'on sait enceintes que pour celles simplement susceptibles de l'être. Comme, en général, les femmes ne sont enceintes que pendant une faible partie de leur vie professionnelle, les restrictions spéciales s'appliquant aux périodes de grossesse ne doivent pas réduire indûment les possibilités de carrière des femmes, et dans bien des cas, elles ne seront pas plus pénibles à supporter que les autres restrictions auxquelles les travailleuses enceintes doivent normalement se soumettre, volontairement ou non.

La limite fixée dans l'Annexe II du règlement actuel pour les travailleuses sous rayonnements enceintes est de 1 rem pour toute la période de grossesse connue. Dans le projet de règlement, elle s'établit à 0,6 mSv par période de deux semaines, ce qui donne 10 mSv ou 1 rem pour 33 semaines, c'est-à-dire à peu près l'équivalent de la limite actuelle. Cette limite de 0,06 mSv par période de deux semaines découle d'une recommandation de la CIPR voulant que les femmes enceintes travaillent uniquement dans des conditions telles que la dose ne risque pas de dépasser 15 mSv par année (2). Cette recommandation de la CIPR mentionne la dose reçue par la mère; cette dose, en cas d'exposition à une source de rayonnement externe, est souvent légèrement supérieure à la dose reçue par l'embryon ou le foetus qui est protégé dans une certaine mesure par le corps de la mère. Néanmoins, le projet de règlement stipule que la limite s'applique à l'embryon ou au foetus plutôt qu'à l'abdomen de la femme, comme dans le

règlement actuel. Ce changement vise simplement à préciser que les restrictions particulières ont pour but d'assurer une protection supplémentaire à l'embryon ou au foetus plutôt qu'à la mère. Toutefois, en pratique, il ne sera pas nécessaire d'habitude d'établir la dose exacte reçue par l'embryon ou le foetus et on pourra généralement se contenter de considérer que la dose à l'embryon ou au foetus correspond à celle que la mère a reçue. Néanmoins, en cas d'exposition à des substances radioactives pouvant pénétrer dans l'organisme, il faut tenir compte de la possibilité que les organes ou tissus de l'embryon ou du foetus reçoivent une dose nettement plus importante que la mère.

Les travailleurs comme les employeurs ont certaines responsabilités en ce qui concerne la salubrité et la sécurité au travail, et les employeurs doivent renseigner leurs employés sur les risques qu'ils courent et contrôler les affectations de façon à protéger la santé des travailleurs. Une femme enceinte a également des responsabilités à l'endroit de l'enfant qu'elle porte et elle doit signaler sa grossesse à son employeur afin que ce dernier puisse modifier ses fonctions ou l'aider autrement à minimiser l'exposition de l'embryon ou du foetus. Ces exigences figurent aux articles 17 et 19 du projet de règlement et elles sont également citées dans l'article 3 du présent document.

4.7 Exposition exceptionnelle concertée, supérieure aux limites normales

L'article 19.4 du projet de règlement stipule que la CCEA peut, dans le cas d'une demande présentée à l'avance, autoriser un travailleur sous rayonnements à accumuler, au cours d'une année, une dose de rayonnements ne dépassant pas deux fois n'importe quelle limite annuelle normale. Toutefois, la Commission ne peut accorder cette permission sauf:

"a) lors de circonstances extraordinaires où il n'existe aucune autre solution de rechange appropriée; et

b) si le travailleur sous rayonnements a été informé des conséquences possibles de ladite permission et y a consenti par écrit."

Le sous-alinéa b) constitue une nouvelle disposition. Même si le risque accru pour la santé qui découlerait de l'absorption d'une dose deux fois supérieure à la limite normale n'est pas très important, il est néanmoins plus grand que ce qui est habituellement permis et, de ce fait, il ne devrait pas être autorisé sans que la personne concernée n'ait donné son consentement, en toute connaissance de cause. Le règlement actuel interdit expressément que des femmes en état de procréer puissent être exposées à ces doses prévues plus fortes au

corps entier ou à l'abdomen. En réalité, même si l'on propose de supprimer cette disposition, une femme qui s'inquiéterait du fait d'être enceinte sans le savoir pourrait refuser de se soumettre à une exposition concertée supérieure aux limites normales.

4.8 Exemptions des limites de dose

L'article 19.5 du projet de règlement dispense les personnes suivantes de l'obligation de respecter les limites de dose réglementaires:

"a) un malade au cours d'un diagnostic médical ou d'un traitement par un médecin;" et

"b) une personne qui applique des mesures d'urgence pour prévenir toute blessure grave, tout danger mortel ou toute atteinte importante à la propriété."

Dans le cas d'un malade, le médecin doit évaluer le risque radiologique par rapport aux avantages que pourrait en tirer le malade. Même si le médecin doit maintenir toute exposition au niveau le plus bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, le règlement ne devrait pas l'empêcher d'avoir recours à des traitements médicaux qu'il estime au mieux des intérêts du malade, dans la mesure où ils lui permettent d'obtenir les résultats souhaités.

Dans le cas d'une personne qui applique des mesures d'urgence, l'importance du fait de dépasser une limite de dose peut être tout à fait négligeable comparativement aux résultats obtenus, par exemple avoir sauvé une vie humaine, avoir empêché des blessures graves à une autre personne, avoir empêché que la situation d'urgence ne s'aggrave, avoir évité des pertes graves de biens de valeur ou encore des dommages graves à de l'équipement coûteux. Dans le règlement actuel aucune dispositon ne touche la propriété; toutefois, bien des personnes avisées agiraient de leur propre initiative pour prévenir toute perte importante touchant la propriété, tout comme elles l'auraient fait pour empêcher des blessures ou sauver une vie humaine, et cela sans tenir compte des règlements. Cette réalité est donc reconnue dans les nouvelles dispositions prévoyant l'exemption de manière à éviter que ces personnes risquent d'être passibles de poursuites judiciaires dans le cas où elles agiraient de la sorte. Toutefois, comme le risque d'être blessée ou tuée pour la personne qui reçoit cette dose de rayonnements en cas d'urgence augmente en proportion de la dose absorbée, la personne devrait demeurer tout à fait libre d'accepter ou non de

s'exposer en cas d'urgence et ne devrait le faire sans avoir déterminé si le risque est justifié par rapport aux avantages à en retirer, c'est-à-dire épargner une vie humaine, prévenir une blessure ou empêcher une perte de propriété.

5. MÉTHODES DE DÉTERMINATION DES DOSES ET DES NIVEAUX D'INCORPORATION

L'article 19.3 du projet de règlement stipule:

"(1) Tout titulaire de permis doit préparer, appliquer et tenir à jour des méthodes pour déterminer les doses de rayonnements et les incorporations de substances prescrites reçues en raison de l'utilisation ou de la possession d'une substance prescrite ou de l'exploitation d'un établissement nucléaire par ledit titulaire de permis.

(2) Tout titulaire de permis doit aviser par écrit la Commission des méthodes établies conformément aux dispositions du paragraphe (1) et doit, si la Commission l'exige, modifier lesdites méthodes conformément aux directives de la Commission.

(3) Tout titulaire de permis doit maintenir et appliquer toutes les méthodes modifiées conformément au paragraphe (2)."

5.1 Quels niveaux de dose et d'incorporation faut-il déterminer?

Les plus faibles niveaux de dose et d'incorporation qu'il faudrait déterminer dépendent des circonstances de l'exposition propres à chaque activité, telles que:

- la sensibilité des techniques de mesure disponibles qui varie beaucoup selon la source de rayonnements;
- le débit d'exposition et d'accumulation probable de doses ou d'incorporations au cours de l'année de dosimétrie (des expositions qui donnent lieu à des doses ou à des incorporations insignifiantes lorsqu'elles sont prises isolément, peuvent s'accumuler jusqu'à des niveaux importants au cours de l'année);
- la possibilité de recevoir des doses ou des incorporations élevées (plus cette possibilité est grande, plus il devient nécessaire d'effectuer des évaluations régulières pour déterminer la dose).

En raison de ces facteurs, les niveaux minima de dose et d'incorporation au-delà

desquels une détermination s'impose, de même que les méthodes visant à limiter et à enregistrer la dose totale accumulée au cours d'une année de dosimétrie, doivent être jugées individuellement dans le cadre du processus de délivrance de permis.

5.2 Pour qui doit-on déterminer les doses et niveaux d'incorporation?

5.2.1 Travailleurs sous rayonnements

De manière générale, des doses ou des incorporations individuelles devraient être déterminées pour tous les travailleurs sous rayonnements, mais pas nécessairement en tout temps ni au moyen d'un contrôle individuel, par exemple:

- lorsque des personnes ne travaillent qu'à l'occasion dans des circonstances où la dose annuelle pourrait dépasser le dixième de la limite annuelle et lorsqu'il est peu probable que la dose totale accumulée au cours de l'année dépasse une fraction considérable de la limite annuelle, il pourrait être acceptable de ne contrôler ces personnes que dans ces circonstances particulières où les doses plus élevées pourraient être reçues;
- comme le contrôle individuel de l'exposition n'est pas encore tout à fait au point pour les produits de filiation du radon et du thoron, la détermination de l'incorporation basée sur des concentrations mesurées et sur une estimation de la durée de l'exposition représente une solution de remplacement acceptable.

5.2.2 Membres du public

Il n'est généralement pas nécessaire de contrôler les doses et les incorporations reçues par les membres du public. On peut s'assurer par d'autres moyens que ces doses et incorporations sont relativement peu élevées, comme il en est question à l'alinéa 5.3.2. Toutefois, dans certaines circonstances, il pourra être nécessaire de procéder à des déterminations individuelles pour certaines personnes qui ne sont pas considérées comme des travailleurs sous rayonnements, mais qui sont néanmoins exposées à des rayonnements au cours de leur travail, soit à l'occasion, soit dans l'exercice direct de leurs fonctions. Ces déterminations individuelles peuvent s'imposer pour prouver à ces travailleurs, à leur employeur, au détenteur de permis ou à la CCEA, que les doses et les incorporations ne dépassent aucune limite prescrite. Les

travailleuses ont tendance à planifier leur grossesse; par conséquent, le risque de grossesse imprévue qui ne serait pas décelée en-deça d'une période de deux mois est plutôt faible chez les femmes qui travaillent;

iii) il est très improbable qu'une femme reçoive en pratique une forte dose de rayonnements lorsqu'elle est enceinte sans le savoir; les rares titulaires de permis dont les activités peuvent exposer une personne à de fortes doses de rayonnements appliquent généralement des mesures de contrôle qui empêchent de recevoir une forte dose pendant une courte période de temps.

Compte tenu de tous ces facteurs et d'un certain nombre d'autres, les conseillers médicaux et le CCRP ont conclu que des limites de débits de dose plus strictes pour les femmes que pour les hommes étaient injustifiées, à moins qu'on ne sache que la femme est enceinte.

Conformément aux conclusions qui précèdent, on a supprimé du projet de règlement les restrictions particulières s'appliquant aux femmes en état de procréer, mais on a conservé les restrictions s'appliquant aux femmes enceintes, comme l'explique l'article 4.6. Cette modification aurait pour conséquence, entre autres, de permettre à une femme qui pourrait être enceinte de recevoir, au cours de la même journée, une dose prévue aussi élevée que la limite de dose annuelle de 50 mSv, mais il est très improbable que la situation se produise en pratique.

Le risque d'effets nocifs sur l'embryon ou le foetus porté par une femme qui est exposée chaque année à une dose s'approchant de la limite annuelle est de 1 à 10 par million, étant donné qu'une femme risque fort peu d'être irradiée lorsqu'elle est enceinte sans le savoir. À titre de comparaison, au moins 9% de la totalité des enfants souffrent, à un moment quelconque de leur vie, d'une maladie ou d'un handicap grave d'origine génétique (12). Environ le tiers de ces maladies ou handicaps, soit au moins 3% de toutes les naissances, sont du même type que ceux qui peuvent résulter de l'exposition aux rayonnements (10). Autrement dit, la fréquence normale de ces anomalies est de 30 000 à 90 000 par million de bébés naissants vivants.

En pratique, rares sont les travailleurs sous rayonnements qui seront exposés à un risque aussi élevé, soit de 1 à 10 par million, tandis qu'un grand nombre de femmes en général peuvent profiter de possibilités d'emploi plus vastes dans l'industrie nucléaire. On a donc conclu que des restrictions spéciales de

débits de dose s'appliquant à toutes les femmes en état de procréer ne pouvaient se justifier. Compte tenu du risque radiologique qui est faible par rapport aux autres risques associés à la grossesse, il semble plus normal de laisser chaque femme décider si elle préfère ou non éviter de s'exposer aux rayonnements, ce qui correspond davantage à l'attitude de la société d'aujourd'hui à l'égard des droits et des responsabilités de l'individu, plutôt que d'imposer à toutes les femmes des restrictions particulières. L'employeur doit renseigner les femmes sur tous les risques qu'elles courent afin de leur permettre de prendre la bonne décision et c'est ce que prévoit le projet de règlement, comme on peut le voir à l'article 4.6 du présent document.

4.6 Limite de débit de dose pour les femmes enceintes

Les risques résultant de l'exposition d'un embryon ou d'un foetus aux rayonnements sont les mêmes, que l'on sache ou non que la femme est enceinte, mais comme on a toujours tendance à se soucier davantage des risques reconnus que des risques possibles, les restrictions sont plus strictes pour les femmes que l'on sait enceintes que pour celles simplement susceptibles de l'être. Comme, en général, les femmes ne sont enceintes que pendant une faible partie de leur vie professionnelle, les restrictions spéciales s'appliquant aux périodes de grossesse ne doivent pas réduire indûment les possibilités de carrière des femmes, et dans bien des cas, elles ne seront pas plus pénibles à supporter que les autres restrictions auxquelles les travailleuses enceintes doivent normalement se soumettre, volontairement ou non.

La limite fixée dans l'Annexe II du règlement actuel pour les travailleuses sous rayonnements enceintes est de 1 rem pour toute la période de grossesse connue. Dans le projet de règlement, elle s'établit à 0,6 mSv par période de deux semaines, ce qui donne 10 mSv ou 1 rem pour 33 semaines, c'est-à-dire à peu près l'équivalent de la limite actuelle. Cette limite de 0,06 mSv par période de deux semaines découle d'une recommandation de la CIPR voulant que les femmes enceintes travaillent uniquement dans des conditions telles que la dose ne risque pas de dépasser 15 mSv par année (2). Cette recommandation de la CIPR mentionne la dose reçue par la mère; cette dose, en cas d'exposition à une source de rayonnement externe, est souvent légèrement supérieure à la dose reçue par l'embryon ou le foetus qui est protégé dans une certaine mesure par le corps de la mère. Néanmoins, le projet de règlement stipule que la limite s'applique à l'embryon ou au foetus plutôt qu'à l'abdomen de la femme, comme dans le

règlement actuel. Ce changement vise simplement à préciser que les restrictions particulières ont pour but d'assurer une protection supplémentaire à l'embryon ou au foetus plutôt qu'à la mère. Toutefois, en pratique, il ne sera pas nécessaire d'habitude d'établir la dose exacte reçue par l'embryon ou le foetus et on pourra généralement se contenter de considérer que la dose à l'embryon ou au foetus correspond à celle que la mère a reçue. Néanmoins, en cas d'exposition à des substances radioactives pouvant pénétrer dans l'organisme, il faut tenir compte de la possibilité que les organes ou tissus de l'embryon ou du foetus reçoivent une dose nettement plus importante que la mère.

Les travailleurs comme les employeurs ont certaines responsabilités en ce qui concerne la salubrité et la sécurité au travail, et les employeurs doivent renseigner leurs employés sur les risques qu'ils courent et contrôler les affectations de façon à protéger la santé des travailleurs. Une femme enceinte a également des responsabilités à l'endroit de l'enfant qu'elle porte et elle doit signaler sa grossesse à son employeur afin que ce dernier puisse modifier ses fonctions ou l'aider autrement à minimiser l'exposition de l'embryon ou du foetus. Ces exigences figurent aux articles 17 et 19 du projet de règlement et elles sont également citées dans l'article 3 du présent document.

4.7 Exposition exceptionnelle concertée, supérieure aux limites normales

L'article 19.4 du projet de règlement stipule que la CCEA peut, dans le cas d'une demande présentée à l'avance, autoriser un travailleur sous rayonnements à accumuler, au cours d'une année, une dose de rayonnements ne dépassant pas deux fois n'importe quelle limite annuelle normale. Toutefois, la Commission ne peut accorder cette permission sauf:

"a) lors de circonstances extraordinaires où il n'existe aucune autre solution de rechange appropriée; et

b) si le travailleur sous rayonnements a été informé des conséquences possibles de ladite permission et y a consenti par écrit."

Le sous-alinéa b) constitue une nouvelle disposition. Même si le risque accru pour la santé qui découlerait de l'absorption d'une dose deux fois supérieure à la limite normale n'est pas très important, il est néanmoins plus grand que ce qui est habituellement permis et, de ce fait, il ne devrait pas être autorisé sans que la personne concernée n'ait donné son consentement, en toute connaissance de cause. Le règlement actuel interdit expressément que des femmes en état de procréer puissent être exposées à ces doses prévues plus fortes au

corps entier ou à l'abdomen. En réalité, même si l'on propose de supprimer cette disposition, une femme qui s'inquiéterait du fait d'être enceinte sans le savoir pourrait refuser de se soumettre à une exposition concertée supérieure aux limites normales.

4.8 Exemptions des limites de dose

L'article 19.5 du projet de règlement dispense les personnes suivantes de l'obligation de respecter les limites de dose réglementaires:

"a) un malade au cours d'un diagnostic médical ou d'un traitement par un médecin;" et

"b) une personne qui applique des mesures d'urgence pour prévenir toute blessure grave, tout danger mortel ou toute atteinte importante à la propriété."

Dans le cas d'un malade, le médecin doit évaluer le risque radiologique par rapport aux avantages que pourrait en tirer le malade. Même si le médecin doit maintenir toute exposition au niveau le plus bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, le règlement ne devrait pas l'empêcher d'avoir recours à des traitements médicaux qu'il estime au mieux des intérêts du malade, dans la mesure où ils lui permettent d'obtenir les résultats souhaités.

Dans le cas d'une personne qui applique des mesures d'urgence, l'importance du fait de dépasser une limite de dose peut être tout à fait négligeable comparativement aux résultats obtenus, par exemple avoir sauvé une vie humaine, avoir empêché des blessures graves à une autre personne, avoir empêché que la situation d'urgence ne s'aggrave, avoir évité des pertes graves de biens de valeur ou encore des dommages graves à de l'équipement coûteux. Dans le règlement actuel aucune dispositon ne touche la propriété; toutefois, bien des personnes avisées agiraient de leur propre initiative pour prévenir toute perte importante touchant la propriété, tout comme elles l'auraient fait pour empêcher des blessures ou sauver une vie humaine, et cela sans tenir compte des règlements. Cette réalité est donc reconnue dans les nouvelles dispositions prévoyant l'exemption de manière à éviter que ces personnes risquent d'être passibles de poursuites judiciaires dans le cas où elles agiraient de la sorte. Toutefois, comme le risque d'être blessée ou tuée pour la personne qui reçoit cette dose de rayonnements en cas d'urgence augmente en proportion de la dose absorbée, la personne devrait demeurer tout à fait libre d'accepter ou non de

s'exposer en cas d'urgence et ne devrait le faire sans avoir déterminé si le risque est justifié par rapport aux avantages à en retirer, c'est-à-dire épargner une vie humaine, prévenir une blessure ou empêcher une perte de propriété.

5. MÉTHODES DE DÉTERMINATION DES DOSES ET DES NIVEAUX D'INCORPORATION

L'article 19.3 du projet de règlement stipule:

"(1) Tout titulaire de permis doit préparer, appliquer et tenir à jour des méthodes pour déterminer les doses de rayonnements et les incorporations de substances prescrites reçues en raison de l'utilisation ou de la possession d'une substance prescrite ou de l'exploitation d'un établissement nucléaire par ledit titulaire de permis.

(2) Tout titulaire de permis doit aviser par écrit la Commission des méthodes établies conformément aux dispositions du paragraphe (1) et doit, si la Commission l'exige, modifier lesdites méthodes conformément aux directives de la Commission.

(3) Tout titulaire de permis doit maintenir et appliquer toutes les méthodes modifiées conformément au paragraphe (2)."

5.1 Quels niveaux de dose et d'incorporation faut-il déterminer?

Les plus faibles niveaux de dose et d'incorporation qu'il faudrait déterminer dépendent des circonstances de l'exposition propres à chaque activité, telles que:

- la sensibilité des techniques de mesure disponibles qui varie beaucoup selon la source de rayonnements;
- le débit d'exposition et d'accumulation probable de doses ou d'incorporations au cours de l'année de dosimétrie (des expositions qui donnent lieu à des doses ou à des incorporations insignifiantes lorsqu'elles sont prises isolément, peuvent s'accumuler jusqu'à des niveaux importants au cours de l'année);
- la possibilité de recevoir des doses ou des incorporations élevées (plus cette possibilité est grande, plus il devient nécessaire d'effectuer des évaluations régulières pour déterminer la dose).

En raison de ces facteurs, les niveaux minima de dose et d'incorporation au-delà

desquels une détermination s'impose, de même que les méthodes visant à limiter et à enregistrer la dose totale accumulée au cours d'une année de dosimétrie, doivent être jugées individuellement dans le cadre du processus de délivrance de permis.

5.2 Pour qui doit-on déterminer les doses et niveaux d'incorporation?

5.2.1 Travailleurs sous rayonnements

De manière générale, des doses ou des incorporations individuelles devraient être déterminées pour tous les travailleurs sous rayonnements, mais pas nécessairement en tout temps ni au moyen d'un contrôle individuel, par exemple:

- lorsque des personnes ne travaillent qu'à l'occasion dans des circonstances où la dose annuelle pourrait dépasser le dixième de la limite annuelle et lorsqu'il est peu probable que la dose totale accumulée au cours de l'année dépasse une fraction considérable de la limite annuelle, il pourrait être acceptable de ne contrôler ces personnes que dans ces circonstances particulières où les doses plus élevées pourraient être reçues;
- comme le contrôle individuel de l'exposition n'est pas encore tout à fait au point pour les produits de filiation du radon et du thoron, la détermination de l'incorporation basée sur des concentrations mesurées et sur une estimation de la durée de l'exposition représente une solution de remplacement acceptable.

5.2.2 Membres du public

Il n'est généralement pas nécessaire de contrôler les doses et les incorporations reçues par les membres du public. On peut s'assurer par d'autres moyens que ces doses et incorporations sont relativement peu élevées, comme il en est question à l'alinéa 5.3.2. Toutefois, dans certaines circonstances, il pourra être nécessaire de procéder à des déterminations individuelles pour certaines personnes qui ne sont pas considérées comme des travailleurs sous rayonnements, mais qui sont néanmoins exposées à des rayonnements au cours de leur travail, soit à l'occasion, soit dans l'exercice direct de leurs fonctions. Ces déterminations individuelles peuvent s'imposer pour prouver à ces travailleurs, à leur employeur, au détenteur de permis ou à la CCEA, que les doses et les incorporations ne dépassent aucune limite prescrite. Les

déterminations individuelles peuvent également être nécessaires pour certains visiteurs, entrepreneurs ou autres personnes qui se trouvent temporairement dans les lieux ou établissements des titulaires de permis, selon qu'il est ou non probable que ces personnes reçoivent une dose ou une incorporation importante.

5.3 Comment déterminer les doses et les incorporations

D'après le paragraphe 19.3(1) du projet de règlement, "tout titulaire de permis doit préparer, appliquer et tenir à jour des méthodes pour déterminer les doses de rayonnements et les incorporations de substances prescrites reçues en raison de l'utilisation ou de la possession d'une substance prescrite ou de l'exploitation d'un établissement nucléaire par ledit titulaire de permis." Les méthodes requises dans le cas des travailleurs sous rayonnements se rapportent généralement à l'établissement d'évaluations individuelles des doses et incorporations pour chaque travailleur, comme l'explique 5.3.1 ci-dessous. Les évaluations individuelles peuvent également s'appliquer à certains membres du public qui peuvent être exposés à des rayonnements et à des substances radioactives dans le cours de leur travail dans les locaux d'un titulaire de permis, mais qui ne sont pas néanmoins des travailleurs sous rayonnements comme déjà expliqué à l'alinéa 5.2.2 du présent document. Cependant, les évaluations de dose et d'incorporation des membres du public sont normalement établies indirectement, comme l'explique l'alinéa 5.3.2 ci-dessous.

5.3.1 Calcul des doses et des incorporations pour les travailleurs sous rayonnements et certains membres du public déterminés

Des évaluations individuelles de la dose ou de l'incorporation s'appliquent généralement aux travailleurs sous rayonnements et à certains membres du public qui sont exposés à des rayonnements ou des substances radioactives au cours de leur travail dans les locaux d'un titulaire de permis. Les doses en provenance de sources externes de rayonnements sont généralement mesurées par des dosimètres individuels, alors que les doses provenant de sources internes sont généralement déterminées par des essais biologiques. Les incorporations sont quelquefois évaluées à partir des concentrations de substances radioactives dans l'air et selon la durée d'exposition à ces concentrations.

Les services de dosimétrie que chaque titulaire de permis doit utiliser pour prouver à la CCEA qu'il se conforme aux limites de dose peuvent être fournis par

le Bureau de radioprotection du ministère fédéral de la Santé et du Bien-être social, ou par un service exploité par un organisme indépendant, par le titulaire de permis lui-même ou par un autre titulaire de permis, et approuvé par la CCEA. Pour approuver un service de dosimétrie, la CCEA se fonde sur certains facteurs et évalue dans quelle mesure ils sont appropriés aux circonstances de l'exposition; parmi ces facteurs figurent:

- la conception du dosimètre ou d'autres méthodes utilisées pour déterminer les doses ou les incorporations;
- les méthodes d'étalonnage, d'essai, de consignation, de compte rendu, d'assurance-qualité et de vérification; (pour se conformer aux limites de dose, les dosimètres et les méthodes doivent être étalonnés en fonction de la dose au corps ou à des organes ou tissus en particulier);
- la compétence du personnel chargé d'effectuer les mesures dosimétriques;
- les dispositions organisationnelles assurant l'indépendance nécessaire du service de dosimétrie par rapport aux services opérationnels;
- les méthodes d'enregistrement de doses et d'incorporations combinés découlant de sources multiples d'exposition;
- toute technique auxiliaire ou complémentaire de dosimétrie utilisée en plus des services ordinaires et dont les résultats peuvent être utilisés en cas de défaillance du service normal.

On peut avoir recours à des dosimètres et à des techniques supplémentaires pour le contrôle quotidien des doses qui peut également être approuvé pour déterminer si les limites de deux semaines dont il est question aux articles 4.6 et 6 du présent document ont été respectées. Une attention particulière peut devoir être apportée à la détermination de la dose reçue par les embryons et les foetus, comme il est mentionné à l'article 4.6.

5.3.2 Calcul des doses pour les membres du public

La CCEA exige que les sources potentielles d'exposition soient contrôlées par les titulaires de permis de sorte qu'il soit peu probable que les membres du public soient exposés à des doses dépassant les limites réglementaires. En fait, la quantité de substances radioactives libérées dans l'environnement par des établissements visés par un permis est habituellement si faible qu'il n'est ni possible ni nécessaire de mesurer les doses et les incorporations reçues par les membres du public, ni d'évaluer ces doses et ces incorporations à partir de

relevés pris dans le voisinage immédiat. Toute exposition est généralement déterminée par le relevé des effluents radioactifs avant qu'ils se dispersent et par combinaison de ces relevés aux modèles appropriés de dispersion dans l'environnement afin de calculer les incorporations et les doses pour les sujets représentatifs de ces groupes de membres du public susceptibles de recevoir les doses les plus élevées.

Il peut être nécessaire de contrôler les régions accessibles au public et les réserves d'eau potable se trouvant dans le voisinage des établissements plus importants pour s'assurer que les taux de rejet et la dispersion dans l'environnement ont été correctement évalués. De même, le contrôle des débits de dose de rayonnements importants dans des zones accessibles au public peut être nécessaire pour évaluer les doses les plus élevées que peuvent recevoir les membres du public, compte tenu de la plus longue durée d'exposition probable.

Conformément à ce qui précède, les dispositions qui découlent du paragraphe 19.3(1) du projet de règlement (lequel est cité au début de l'article 5.3 du présent document) se rapporteraient surtout aux points suivants:

- le calcul des limites dérivées d'effluents et de débits de dose correspondant aux limites de dose réglementaires; et
- le contrôle et le relevé des effluents et des débits de dose afin de s'assurer que les limites dérivées sont respectées.

6. MESURES À PRENDRE EN CAS DE DÉPASSEMENT D'UNE LIMITE DE DOSE

Les mesures à prendre dans le cas où une limite de dose est dépassée sont précisées au paragraphe 19.2(1) du projet de règlement:

"Tout titulaire de permis doit, dans les cas où une personne reçoit, en raison de l'utilisation ou de la possession d'une substance prescrite ou de l'exploitation d'un établissement nucléaire par ledit titulaire de permis, une dose de rayonnements supérieure à toute limite de dose stipulée pour une telle personne à l'Annexe II,

a) en informer sur-le-champ ladite personne et la Commission;

b) mener sur-le-champ une enquête pour déterminer les causes de l'événement et en faire rapport à la Commission; et

c) aider la Commission au cours de toute enquête qu'elle peut mener sur l'événement."

Dans ce qui précède, la dose en question représente celle que toute personne reçoit au cours d'une année de dosimétrie, y compris la dose engagée due à l'incorporation de substances radioactives au cours de ladite année. Dans le cas de l'exposition de travailleurs sous rayonnements, des limitations d'exposition seraient imposées si la dose de fait reçue au cours d'une année de dosimétrie dépassait toute valeur de limite de dose correspondante visée à la partie 1 de l'Annexe II, tel que stipulée dans le paragraphe 19.2(2) du projet de règlement:

> "Tout titulaire de permis, dans le cas où un travailleur sous rayonnements reçoit, au cours d'une année de dosimétrie et en raison de l'utilisation ou de la possession d'une substance prescrite ou de l'exploitation d'un établissement nucléaire par ledit titulaire de permis, une dose de rayonnements supérieure à toute limite de dose stipulée à la partie 1 de l'Annexe II, à l'exception de la portion d'équivalent de dose engagé et d'équivalent de dose effectif engagé non reçus au cours de ladite année, doit limiter toute dose de rayonnements supplémentaire reçue par ledit travailleur au cours de toute période ultérieure de deux semaines au vingt-cinquième des limites de dose stipulées à la partie 2 de l'Annexe II, jusqu'à la fin de l'année de dosimétrie de ladite personne ou pendant trois mois après l'événement, selon la date la plus tardive."

Cette limitation d'exposition s'impose si la dose qu'un travailleur sous rayonnements reçoit au cours d'une année de dosimétrie (exception faite des portions de l'équivalent de dose et de l'équivalent de dose effectif engagées pour ladite année mais absorbées par les tissus du corps seulement dans les années suivantes) dépasse toute valeur de limite de dose correspondante visée à la partie 1 de l'Annexe II. C'est dire que, si un travailleur sous rayonnements est exposé à des rayonnements ou à des substances radioactives prescrites à un point tel qu'il a reçu ou recevra pendant l'année de dosimétrie en cours un équivalent de dose effectif supérieur à 50 mSv, un équivalent de dose au cristallin supérieur à 150 mSv ou un équivalent de dose à toute autre organe ou tissu supérieur à 500 mSv, il faudrait que le titulaire de permis limite toute exposition de ce travailleur tel que toute dose additionnelle de rayonnement que ce travailleur recevrait au cours de toute période subséquente de deux semaines soit limitée au ving-cinquième des limites de dose stipulées pour les membres du public dans la partie 2 de l'Annexe II. Cette limitation d'exposition resterait en vigueur jusqu'à la fin de l'année de dosimétrie dudit travailleur ou pour une période de trois mois après l'incident au cours duquel la valeur de limite de dose a été dépassée, selon le délai le plus long.

Ces restrictions de dose sont plus précises que les exigences générales contenues dans le règlement actuel selon lequel un travailleur qui dépasse la limite de dose "ne peut effectuer de travaux qui seraient susceptibles d'ajouter sensiblement à la quantité de rayonnement ionisants qu'il reçoit, tant que la Commission n'a pas donné son approbation à cet effet". La restriction au vingt-cinquième des limites, pour deux semaines, stipulées dans la partie 2 de l'Annexe II, revient à un simple calcul au prorata de la limite de dose annuelle pour les membres du public. L'obligation de limiter toute autre exposition ultérieure incomberait au titulaire de permis, et non au travailleur, comme c'est le cas dans le règlement actuel. (Cette modification ne vise pas à supprimer la responsabilité des travailleurs qui doivent quand même prendre toutes les précautions raisonnables, car les employés aussi bien que les employeurs ont un rôle à jouer pour limiter l'exposition aux rayonnements.) Comme le fait de dépasser une limite de dose peut indiquer une défaillance dans les procédures de contrôle, il faut enquêter au sujet des circonstances ayant donné lieu à l'exposition aux rayonnements; la restriction du débit de dose pour un délai minimal de trois mois a pour objet de donner le temps d'effectuer cette enquête de sorte que les raisons pour lesquelles la limite a été dépassée puissent être déterminées et que toute mesure correctrice soit prise pour empêcher la répétition d'un tel incident. Dans certaines circonstances, toutefois, cette restriction de trois mois peut n'être ni nécessaire ni appropriée, et c'eat pourquoi le paragraphe 19.2(3) donne à la Commission le pouvoir d'abréger ou de prolonger cette période:

> "La Commission peut, sur demande ou de son propre chef, abréger ou prolonger les délais stipulés au paragraphe (2), à condition que
>
> a) le titulaire de permis et le travailleur sous rayonnements aient obtenu une occasion raisonnable de faire des interventions verbalement ou par écrit;
>
> b) dans le cas d'un abrégement, un tel abrégement ne nuise pas aux intérêts de la santé ou de la sécurité; et
>
> c) dans le cas d'une prolongation, une telle prolongation soit jugée nécessaire par la Commission aux intérêts de la santé ou de la sécurité."

L'avis donné à la Commission et l'enquête stipulés au paragraphe 19.2(1), (lequel est cité au début de l'article 6 du présent document), sont exigés dans les cas où les limites de dose sont dépassées et que la dose en question comprend à la fois "l'équivalent de dose" reçu pendant l'année de dosimétrie en

cours et "l'équivalent de dose engagé" résultant de l'incorporation de substances radioactives au cours de la même année. Comme l'explique le prochain paragraphe, la notion d'équivalent de dose engagé pose certaines difficultés, néanmoins, il faut en tenir compte dans la planification et le contrôle des doses, et toute infraction à la limite imposée à l'équivalent de dose engagé peut être la preuve d'une défaillance des mesures de contrôle et devrait donc faire l'objet d'une enquête.

Les limitations d'exposition prévues au paragraphe 19.2 (2) ne s'appliquent que si la dose réellement reçue par une personne au cours d'une année de dosimétrie (exception faite de la partie de la dose engagée qui ne se manifestera qu'au cours des années ultérieures) dépasse toute valeur limite stipulée à l'Annexe II. La raison pour laquelle le critère ayant trait à la restriction visée au paragraphe 19.2 (2) diffère des critères relatifs aux dispositions du paragraphe 19.2(1) tient au fait que les calculs estimatifs de la dose engagée sont très incertains pour quelques substances à période longue, étant donné qu'ils se fondent sur des prévisions quant au comportement de la substance dans l'organisme au cours des 50 années suivant l'incorporation. Par exemple, certains travailleurs des raffineries d'uranium sont exposés à divers mélanges de composés d'uranium dont les propriétés sont tellement différentes que la durée de rétention dans les poumons de toute matière inhalée s'échelonne de quelques jours à plusieurs années. La quantité d'uranium contenue dans les poumons et la dose qui en découle peuvent être déterminées de manière assez exacte pour l'année au cours de laquelle s'est produite l'incorporation, mais l'on ne peut prédire avec certitude la quantité qui demeurera dans les poumons au cours des années suivantes. Dans la pratique, les essais biologiques étalés sur une période de quelques années ont montré que la dose engagée supposée dépassait souvent la dose engagée réelle. Par conséquent, on risquerait de causer des difficultés injustes à un travailleur si on lui imposait des limitations d'exposition en se fondant sur le calcul estimatif de la dose engagée.

L'alinéa 19.2(1)a) qui stipule qu'il faut informer toute personne qui reçoit une dose dépassant la limite prescrite, devrait nécessairement s'appliquer de manière différente aux membres du public qui ne sont pas soumis à des contrôles individuels, par rapport à des personnes pour qui on évalue régulièrement la dose individuelle. La possibilité que des membres du public dépassent la limite de dose serait généralement indiquée par des émissions excessives de substances

radioactives dans l'environnement, ou par des champs de rayonnement excessifs provenant de sources visées par un permis, et il pourrait être impossible alors d'identifier les personnes ayant pu être exposées au-delà d'une limite de dose. La CCEA qui doit être informée de tous les incidents de ce genre devrait alors déterminer dans chacun des cas si l'on peut identifier les personnes qui peuvent avoir été exposées au-delà d'une limite de dose et décider de la manière la plus appropriée de les informer de l'incident.

7. DÉTERMINATION DU NIVEAU DE DOSE LE PLUS BAS QU'IL EST RAISONNABLEMENT POSSIBLE D'ATTEINDRE

Les niveaux de dose, d'incorporation de substances radioactives ou de rejet de substances radioactives dans l'environnement qui sont le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre dans une situation donnée, peuvent être déterminés de différentes façons, selon les circonstances. L'expérience est un facteur important dont on tient compte pour établir des limites ou cibles opérationnelles, des niveaux de référence ou des répartitions de dose pour certaines opérations particulières. Ces limites cibles, niveaux et répartitions sont en général inférieurs aux limites réglementaires, mais ils pourraient leur être égales à l'occasion. Il est possible de déterminer si les doses, les incorporations ou les rejets sont ou non aussi bas que le niveau qu'il est raisonnablement possible d'atteindre dans une situation donnée, en examinant un éventail détaillé de solutions de remplacement et en comparant leur coût par rapport aux réductions de dose qu'on pourrait obtenir dans chacun des cas. Dans le cas d'incorporations de substances radioactives, ou de rejets de telles substances dans l'environnement, on devrait évaluer les doses reçues par les personnes de manière à disposer d'une mesure uniforme des conséquences sur l'être humain par rapport au coût des différentes méthodes de réduction de dose.

Si l'on peut parvenir à une importante réduction de la dose collective à un coût raisonnable, il faudrait alors procéder à cette réduction. Dans la pratique, les premiers efforts visant à limiter les doses donnent généralement lieu à des réductions importantes à un coût relativement bas, mais plus les doses, les incorporations ou les rejets sont réduits, plus le coût des réductions supplémentaires devient prohibitif. Autrement dit, il existe une valeur du coût de la réduction par unité de dose (dollars par personne-sievert de réduction de dose, par exemple) en deça de laquelle la dépense est justifiée et au-delà de

laquelle la dépense reviendrait extrêmement cher, vu la réduction relativement faible des risques à la santé qui en résulterait.

Plusieurs valeurs monétaires ont été utilisées dans d'autres pays et par les organismes internationaux pour l'élimination d'une personne-sievert. Ces valeurs sont généralement de l'ordre de quelques dizaines de milliers de dollars par personne-sievert, soit quelques centaines de dollars par homme-rem, et tiennent compte de la somme qui est généralement dépensée pour réduire les risques à la santé dans d'autres secteurs, comme la sécurité dans les transports ou la santé publique. Par exemple, si l'on estimait raisonnable de dépenser un million de dollars pour prévenir un accident mortel dans les statistiques, et si le risque statistique d'un effet stochastique mortel découlant d'une exposition aux rayonnements correspondait à un rapport de 1 pour 60 par personne-sievert, comme l'explique l'Annexe 1, il serait alors raisonnable de dépenser 1 000 000$/60 = 17 000$ pour réduire la dose collective d'une opération donnée par 1 personne-sievert (170$ par homme-rem).

Un des inconvénients de préciser une valeur monétaire unique pour l'élimination d'une personne-sievert, c'est que cette démarche va quelque peu à l'encontre de la façon dont on comprend normalement l'importance de la réduction des doses. En pratique, on a tendance à accorder plus d'attention aux doses plus fortes, ce qui laisse penser qu'on attacherait plus d'importance à l'élimination d'une personne-sievert consistant en des doses individuelles approchant des limites qu'à l'élimination d'une personne-sievert constituée de doses individuelles très faibles. Pour cette raison, entre autres, la CCEA ne propose pas à l'heure actuelle de fixer une valeur monétaire pour l'élimination d'une personne-sievert.

Le bien-fondé d'encourir des dépenses ou non pour réduire les doses, même s'il n'existe pas de valeur monétaire particulière pour l'élimination d'une personne-sievert, est souvent évident dans la pratique, soit parce qu'une réduction importante de la dose peut être effectuée à un coût modique, soit parce que malgré des coûts importants, les réductions de dose ne seraient que très faibles. L'importance qu'on accorde à l'amélioration possible de la radioprotection peut être évaluée en comparant les doses individuelles et collectives avant et après cette amélioration, et la justification des coûts engagés pour apporter cette amélioration peut alors être établie par comparaison avec les coûts généralement acceptés pour des réductions semblables de dose dans d'autres secteurs. Les niveaux de dose que l'on pense être aussi bas qu'il est

raisonnablement possible d'atteindre pour une opération donnée dépendent largement des conditions particulières en cause et, par conséquent, peuvent être mieux déterminés après des consultations entre le titulaire de permis et la CCEA, en fonction de chacun des cas.

Les méthodes de rentabilité des dépenses engagées par rapport à la réduction des risques à la santé, dont il est question ci-dessus, favorisent une évaluation cohérente et objective des niveaux de dose qui sont aussi bas qu'il est raisonnablement possible d'atteindre dans une situation donnée, mais il est souvent nécessaire de tenir compte de certains autres facteurs, comme les bonnes pratiques industrielles dans des circonstances semblables où il n'y a pas d'exposition aux rayonnements, la qualité de l'environnement, ainsi que certaines considérations d'ordre social. Enfin, il est une dernière condition qui prime tout: les limites de dose doivent être respectées, peu importent les considérations d'ordre économique.

ANNEXE 1

Facteurs de risque, risque acceptable et limites de dose

Puisqu'il n'y a pas de dose seuil connue en deçà de laquelle certains "effets stochastiques" pourraient ne pas se produire, il est probable qu'il existera certains risques d'effets stochastiques quel que soit le niveau auquel la limite de dose sera fixée. Il s'ensuit donc que l'établissement d'une limite de dose équivaut à préciser un niveau maximum de risque acceptable. (Néanmoins, il n'est pas acceptable que quelqu'un soit exposé à la limite si un niveau inférieur de dose peut être raisonnablement atteint.) Un exemple du niveau qui est acceptable a été fourni au cours d'une enquête publique sur l'exploitation minière de l'uranium en Saskatchewan*:

> "Lorsqu'on évalue la pertinence des normes actuelles concernant l'exposition aux rayonnements, il doit être entendu que ces normes n'ont pas pour objet d'indiquer des niveaux d'exposition en deçà desquels les risques sont nuls. Pour certains types de risques, il peut exister des seuils permettant d'établir des limites sûres. Toutefois, pour bon nombre d'autres risques, il n'existe pas de seuils en deçà desquels les risques sont nuls. Pourvu qu'on puisse démontrer qu'on peut en retirer certains avantages, il est d'usage de fixer des limites qui rendent le risque 'acceptable'. Le principe sous-jacent à ce caractère acceptable est relativement facile à énoncer: ce qui est 'acceptable' dépend des risques que la société est disposée à accepter dans l'espoir d'atteindre certains objectifs souhaitables (...) Ces limites (...) sont déterminées par une combinaison d'éléments, à savoir l'expérience, l'expertise, le bon sens et le niveau de tolérance du public, surtout dans la manière dont cette tolérance s'exprime par rapport aux activités de tous les jours."

La démarche adoptée par la CIPR, en recommandant une limite d'équivalent de dose effectif de 50 mSv par année pour l'exposition professionnelle, est conforme à ces principes dans la mesure où le risque pour la santé découlant de la dose moyenne de rayonnement absorbée par bon nombre de groupes professionnnels

---

* Rapport final de la Commission d'enquête de Cluff Lake remis au gouvernement de la Saskatchewan en 1978), présidée par le juge E.D. Bayda. Traduction d'un extrait du paragraphe 3.60.

assujettis à une limite annuelle de 50 mSv n'est pas supérieur au risque moyen d'accident mortel dans les secteurs d'activité industriels ayant un haut niveau de sécurité. On considère généralement que ces secteurs sont ceux où la fréquence des accidents mortels n'est pas supérieure à un rapport annuel de 1 pour 10 000 employés, ce qui équivaut à un risque moyen, établi sur une période d'activité de 50 ans, de 1 accident mortel pour 200 employés. Le risque qui existe pour certains employés, comme les employés de bureau, dans un secteur d'activité industriel donné est généralement inférieur à la moyenne établie pour ce secteur d'activité, tandis que le risque qui se pose pour d'autres travailleurs est supérieur à la moyenne. De même, on peut s'attendre que le risque dû aux rayonnements pour les travailleurs sous rayonnements varie considérablement suivant la dose reçue.

En plus des risques découlant de l'exposition aux rayonnements, les travailleurs sous rayonnements sont exposés aux dangers habituels non radiologiques qui sont relativement faibles pour les opérateurs de réacteurs, par exemple, mais relativement élevés pour les travailleurs des mines d'uranium. Ces autres risques n'ont pas été pris en considération lors de l'établissement des limites de dose.

Le risque des effets stochastiques provoqués par les rayonnements est d'environ 1 pour 60 000 par mSv; toutefois, le risque à vie moyen calculé à partir de tous les travailleurs s'établit à environ 80% de cette valeur, (soit 0,8 pour 60 000 ou 1 pour 75 000) comme il est expliqué ci-dessous. La dose totale accumulée au cours de la vie active d'un travailleur qui correspond à un rapport de 1 pour 200, soit le risque moyen à vie pour une personne travaillant dans un secteur d'activité industriel sûr, s'établit donc à 375 mSv. Dans le cas tout à fait improbable où un travailleur sous rayonnements serait exposé à la limite de dose de 50 mSv chaque année, il accumulerait 2 500 mSv pendant une période d'activité de 50 ans. Le risque professionnel total pendant sa période d'activité serait donc environ sept fois supérieur au risque moyen calculé pour un secteur d'activité industriel sûr (statistiquement parlant) et serait comparable au risque moyen qui existe pour les plus dangereux métiers, comme l'extraction minière, la construction ou le travail agricole. Autrement dit, le risque de rayonnements découlant d'une exposition continue à la limite de dose serait comparable au risque moyen qui existe pour l'un de ces métiers plus dangeureux.

Fondement du facteur de risque établi à 1 pour 60 000 par mSv

Le risque stochastique découlant de l'exposition aux rayonnements a été déterminé à la suite d'études effectuées sur des groupes importants de personnes exposées à de fortes doses de rayonnements. Les renseignements ont été tirés de quatre sources principales qui ont donné lieu à des études épidémiologiques: des malades exposés à des doses thérapeutiques de rayons-X; des malades et des travailleurs ayant ingéré du radium; des travailleurs de mines d'uranium exposés aux produits de filiation du radon dans des mines mal ventilées; et des survivants du bombardement atomique du Japon exposés principalement à des rayons gamma. Des augmentations de la fréquence du cancer, allant de faibles à marquées, ont été notées parmi ces groupes de personnes qui ont reçu des équivalents de dose effectif s'échelonnant de quelques centaines à quelques milliers de millisieverts. De telles études épidémiologiques, de même que des renseignements tirés des études sur les animaux effectuées en laboratoire, sont analysés de façon continue par le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) (6,7).

La CIPR étudie également de façon continue les nouveaux renseignements portant sur les effets des rayonnements et a conclu, à partir des résultats combinés des nombreuses études épidémiologiques analysées par ses membres et ses comités, par le UNSCEAR, et par d'autres organismes aussi bien nationaux qu'internationaux, que le facteur approprié de risque sur lequel on devrait fonder les limites de dose de rayonnements équivaut à peu près au rapport suivant: 1 cancer fatal ou 1 lésion génétique sur 60 000 par mSv. Ce facteur de risque a été réexaminé et confirmé par la CIPR en 1978 et de nouveau en 1980 (2a,2b). L'estimation du risque s'explique de la manière suivante:

Si un million de personnes reçoivent une dose de 1 mSv dans le corps entier soit une dose collective de 1 000 personnes-sieverts),

12 ou 13 personnes pourraient être atteintes d'un cancer fatal ou de leucémie, et

4 effets génétiques pourraient se manifester chez leurs enfants et leurs petits-enfants.

Le risque total d'effets stochastiques est de 16 ou 17 par million de personnes par mSv, ou 16 ou 17 par 1 000 personnes-sieverts, ce qui équivaut à environ une chance sur 60 000 par mSv ou un effet stochastique pour 60 personnes-sieverts.

La CIPR a recommandé que le facteur de risque précité serve à des fins de radioprotection, et elle l'a elle-même utilisé comme dénominateur commun pour calculer ses "facteurs de pondération" (2), mais elle a également signalé que ce facteur surestime probablement le risque moyen présent dans une population active type se composant de travailleurs âgés de 18 à 65 ans, étant donné que certains de ces travailleurs mourront d'autres causes avant qu'un cancer potentiellement fatal cause effectivement la mort du malade (13). Le risque moyen dans une population active type ne représente qu'environ 80% de la valeur donnée ci-dessus (13).

ANNEXE 2

Conversion d'"exposition" aux produits de filiation du radon en "incorporation"

L'exposition aux produits de filiation du radon a généralement été exprimée en "unités alpha-mois" ou "working level month" (WLM) qui représentent le produit de la concentration de produits de filiation du radon en "unités alpha" ou "working level" (WL) et la durée d'exposition en mois. Un "mois" est réputé équivaloir à 170 heures de travail. On peut donc dire que 1 WLM équivaut à 170 WLh.

Une "unité alpha" ou "working level" représente la concentration d'"énergie potentielle alpha" des produits de filiation du radon dans l'air égale à $1,30 \times 10^5$ MeV/L, soit, en unités SI, $2,08 \times 10^{-5}$ J/m^3.

La quantité d'"énergie potentielle alpha" inhalée par une personne dont l'"exposition" aux produits de filiation du radon est de l'ordre de 1 WLh, dépend de son rythme respiratoire. A un rythme respiratoire de 1,2 m^3/h établi pour "homme de référence", l'incorporation serait de

$$2,08 \times 10^{-5} \frac{J}{m^3} \text{ h} \times 1,2 \frac{m^3}{h} = 2,496 \times 10^{-5} \text{ J};$$

c'est-à-dire que 1 WLh $= 2,5 \times 10^{-5}$ J.

La CIPR recommande une limite annuelle d'incorporation (LAI) de 0,02 J.(3)

Une telle incorporation de 0,02 J résulterait d'une exposition d'un "homme de référence" à

$$\frac{0,02 \text{ J}}{2,5 \times 10^{-5} \text{ J/WLh}} = 800 \text{ WLh, ou}$$

$$\frac{0,02 \text{ J}}{2,5 \times 10^{-5} \text{ J/WLh} \times 170 \frac{\text{WLh}}{\text{WLM}}} = 4,7 \text{ WLM,}$$

c'est-à-dire qu'une LAI de 0,02 J équivaut à une limite d'exposition annuelle de 800 WLh ou 4,7 WLM.

La référence 3 indique une valeur légèrement supérieure, soit 4,8 WLM, qui découlait du fait qu'on avait arrondi la valeur de l'exposition en unités SI avant de la convertir en WLM:

$$\frac{0{,}02\ \text{J}}{1{,}2\ \text{m}^3/\text{h}} = 1{,}67 \times 10^{-2}\ \frac{\text{J}}{\text{m}^3}\ \text{h} \simeq 1{,}7 \times 10^{-2}\ \frac{\text{J}}{\text{m}^3}\ \text{h}$$

$$\frac{1{,}7 \times 10^{-2}\ \dfrac{\text{J}}{\text{m}^3.\text{h}}}{2{,}08 \times 10^{-5}\ \dfrac{\text{J}}{\text{m}^3.\text{WL}} \times 170\ \dfrac{\text{WLh}}{\text{WLM}}} = 4{,}8\ \text{WLM}$$

En prenant 4,8 WLM comme point de repère, le rythme respiratoire correspondant à une incorporation de 0,02 J serait de l'ordre de 1,18 m^3/h, plutôt que 1,2 m^3/h établi pour l'homme de référence. En revanche, si l'on utilise, 4,7 WLM, on obtient la valeur exacte de 1,2 m^3/h.

ANNEXE 3

Glossaire

Par souci de simplicité, la définition de certains des termes contenus dans le glossaire qui suit diffère légèrement de celle donnée dans la Loi ou le Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique; en outre, certaines définitions sont plus restrictives ou moins scientifiquement rigoureuses que celles qui figurent habituellement dans les textes de référence. Le terme anglais correspondant se trouve entre parenthèses suivant chaque définition.

"a^{-1}": par année;

"année de dosimétrie": période nominale de douze mois consécutifs (soit une année civile, en général) à partir de laquelle on détermine les doses annuelles reçues par les travailleurs sous rayonnements et les autres personnes; la durée d'une année de dosimétrie peut varier d'une année à l'autre, d'après les variations nécessaires apportées aux calendriers dosimétriques, mais elle n'est pas inférieure à 50 ni supérieure à 54 semaines consécutives, les dates limites (début et fin) pour chaque groupe de personnes étant précisées à l'avance par la CCEA et sujettes à son inspection; (dosimetry year)

"becquerel" (Bq): unité d'activité (qui représente le taux de désintégration radioactive d'une substance); un becquerel d'une substance radioactive se désintègre par décroissance radioactive au rythme d'une désintégration par seconde (1 curie = $3,7 \times 10^{10}$ Bq);

"Bq": becquerel;

"cancérigène": se dit d'une substance ou un agent pouvant provoquer le cancer; (carcinogen)

"CCEA": "Commission de contrôle de l'énergie atomique"; (AECB)

"cible": voir "limite opérationnelle"; (target)

"CIPR": "Commission internationale de protection radiologique"; (ICRP)

"cm^2": unité de surface en centimètres carrés;

"Comité consultatif sur la radioprotection"(CCRP): comité composé de médecins, de scientifiques et de spécialistes en radioprotection, nommés par la CCEA en tant que conseillers (indépendamment des conseils offerts par les spécialistes de la CCEA) au sujet de toute question ayant trait à la "radioprotection"; (Advisory Committee on Radiological Protection, ACRP)

"Commission": Commission de contrôle de l'énergie atomique; (Board)

"Commission de contrôle de l'énergie atomique" (CCEA): organisme constitué par la Loi sur le contrôle de l'énergie atomique aux fins établies dans la Loi; (Atomic Energy Control Board)

"Commission internationale de protection radiologique" (CIPR): organisme fondé par le Congrès international de radiologie en 1928 sous le nom de Comité international de protection contre le radium et les rayons X. Elle a modifié son titre et son organisation en 1950 afin de mieux assurer les besoins croissants de la radioprotection suite à l'usage plus répandu des sources de rayonnement, dans la recherche, dans l'industrie, en médecine, et suite à l'évolution rapide de l'industrie nucléaire. La CIPR elle-même ne compte que 13 membres, mais ce groupe international de médecins et d'hommes de science est secondé par plusieurs comités et groupes de travail, de spécialistes, ce qui lui permet de bénéficier des vastes connaissances techniques du monde de la médecine, des sciences et de la radioprotection. Le rôle de la CIPR est d'offrir des conseils pour la protection des personnes contre les rayonnements ionisants, et ses recommandations (dont bon nombre sont indiquées à titre de référence à la fin du présent document) sont généralement adoptées par l'Agence internationale de l'énergie atomique ainsi que par d'autres organismes internationaux et nationaux comme fondement de leurs règlements et de leurs directives concernant la radioprotection; (International Commission on Radiological Protection, ICRP)

"conseiller médical": tout médecin nommé par la CCEA en vue de donner des conseils sur les aspects médicaux de l'expositon aux rayonnements; ces conseillers médicaux ont été nommés au sein de chacune des provinces, du ministère de la Santé et du Bien-être social, par les Forces armées canadiennes et par l'Énergie atomique du Canada, Limitée; (medical adviser)

"détriment": concept mathématique de prévision du dommage individuel ou collectif causé par l'exposition aux rayonnements, tenant compte de la probabilité de chaque type d'effet nuisible et de la gravité de chacun d'eux; (detriment)

"dose": dose de rayonnements, soit "l'équivalent de dose", "l'équivalent de dose engagé", "l'équivalent de dose effectif", ou "l'équivalent de dose effectif engagé", selon le contexte; (dose)

"dose absorbée": la quantité d'énergie reçue par le corps, ou par tout tissu ou organe en raison de l'exposition au rayonnement ionisant, divisée par la masse respective du corps, de l'organe ou du tissu; l'unité de mesure est le joule par kilogramme qui porte le nom particulier de gray (Gy);
1 Gy = 1 joule/kg (= 100 rads); (absorbed dose)

"dose collective": somme des doses individuelles reçues par toutes les personnes exposées à une source donnée de rayonnement; il s'agit également du produit de la dose moyenne d'un groupe de personnes exposées et du nombre de personnes comprises dans ce groupe; la dose collective est généralement exprimée en "personne-sievert"; (collective dose)

"dose engagée" (H_{50}): dose totale reçue due aux substances radioactives dans le corps au cours des 50 années suivant l'incorporation de ces substances; lorsqu'il n'est pas pratique de déterminer au moyen d'essais biologiques la valeur H_{50} d'une substance radioactive contenue dans le corps, cette valeur peut être calculée de la manière suivante:

- dans le cas de l'équivalent de dose effectif engagé:
  $H_{50} = \frac{I}{LAI_s} \times 50\ mSv;$
- dans le cas de l'équivalent de dose engagé à un organe ou un tissu:
  $H_{50,T} = \frac{I}{LAI_{ns}} \times 500\ mSv;$ où

I représente l'incorporation d'une substance radioactive donnée, par inhalation ou ingestion;

LAI_s représente la valeur LAI pour la substance donnée, pour l'inhalation ou l'ingestion, respectivement, basée sur la limitation des effets stochastiques, et

LAI_{ns} représente la valeur LAI pour cette substance, pour l'inhalation ou

l'ingestion, respectivement, basée sur la prévention des effets non stochastiques; (committed dose)

"dose pondérée": équivalent de dose pondéré; (weighted dose)

"dose professionnelle" ou "exposition professionnelle": dose de rayonnements ou exposition aux rayonnements reçue par une personne employée comme "travailleur sous rayonnements"; (occupational dose or occupational exposure)

"dose seuil": niveau de dose en deçà duquel un effet donné ne se produira pas; (threshold dose)

"effets génétiques": voir lésion héréditaire; (genetic effects)

"effets non stochastiques": effets biologiques qui ne se produisent que si un certain seuil de dose est dépassé, et dont la gravité augmente proportionnellement à la dose absorbée; des rougeurs sur la peau, des lésions vasculaires aux tissus, l'opacité des cristallins et des maux aigus dus aux rayonnements sont autant d'exemples d'effets non stochastiques; (non-stochastic effects)

"effets stochastiques": effets biologiques qui peuvent se produire au hasard dans un groupe de personnes exposées, et dont la probabilité de manifestation est proportionnelle à l'équivalent de dose effectif, en général sans seuil; les cancers et les lésions ou maladies héréditaires sont les effets stochastiques les plus importants; (stochastic effects)

"embryon": être humain en cours de développement à partir de l'implantation dans l'utérus (environ deux semaines après la fécondation) jusqu'à la septième ou huitième semaine après la fécondation; (embryo)

"énergie atomique": toute énergie de quelque genre qu'elle soit, provenant de la transmutation des atomes ou créée par cette dernière; (atomic energy)

"énergie potentielle alpha": l'énergie de toutes les particules alpha qui pourraient être émises au cours de la désintégration radioactive des produits de filiation du radon en plomb 210 ou des produits de filiation du thoron en plomb 208; (potential alpha energy)

"énergie potentielle alpha inhalée": "énergie potentielle alpha" des produits de filiation du radon ou du thoron inhalés; (inhaled potential alpha energy)

"équivalent de dose": "dose absorbée" multipliée par un "facteur de qualité" visant à rendre compte des différentes possibilités de lésions causées par les divers types de rayonnements; un "gray" de dose absorbée multiplié par le facteur de qualité approprié donne un "sievert" d'équivalent de dose; (dose equivalent)

"équivalent de dose effectif" (H_E): total des "équivalents de dose pondérés" reçus par les organes et les tissus du corps, calculé au moyen de l'équation suivante:

$$H_E = \sum_T w_T H_T, \text{ où}$$

$\sum_T$ représente le total, pour tous les organes ou tissus, de toutes les valeurs qui suivent le symbole (ici, la somme de toutes les valeurs $w_T H_T$);

w_T est le facteur de pondération de l'organe ou du tissu T, dont les valeurs sont énumérées ci-dessous sous la rubrique "facteur de pondération";

H_T est l'équivalent de dose reçue par l'organe ou le tissu T, qui comprend l'équivalent de dose reçue de sources externes de rayonnements plus l'équivalent de "dose engagée", des substances radioactives présentes dans le corps; (effective dose equivalent)

"équivalent de dose pondéré": équivalent de dose reçue par le corps, un organe ou un tissu, multiplé par le "facteur de pondération" approprié (c'est-à-dire l'équivalent de dose pondéré = $w_T H_T$, les symboles ayant la même définition que celle qui est donnée sous la rubrique "équivalent de dose effectif"); (weighted dose equivalent)

"essai biologique": mesure des substances radioactives dans le corps, soit par l'analyse des excréments (habituellement l'urine), soit par la mesure du rayonnement provenant des substances au moyen de détecteurs de rayonnements extérieurs au corps; (bioassay)

"établissement nucléaire": un réacteur nucléaire, un réacteur nucléaire sous-critique, un accélérateur de particules, une mine ou une usine de concentration d'uranium ou de thorium, une usine de séparation, de traitement,

de retraitement ou de fabrication de substances fissiles, une usine de production de deutérium ou de ses composés, une installation d'évacuation de substances prescrites; comprend également les terrains, les bâtiments et le matériel qui sont reliés ou associés à de tels accélérateurs, réacteurs, installations ou usines; (nuclear facility)

"exposition": exposition à une source interne ou externe de rayonnements ou, selon le contexte, le produit de la concentration d'une substance radioactive dans l'air (ou du débit de dose provenant d'une source de rayonnements) et de la durée de l'exposition à cette concentration (ou à ce débit de dose); (exposure)

"exposition externe": exposition à une source de rayonnements qui se trouve à l'extérieur du corps; (external exposure)

"exposition interne": exposition aux rayonnements provenant d'une substance radioactive se trouvant à l'intérieur du corps; (internal exposure)

"facteur de pondération": facteur par lequel est multiplié l'équivalent de dose reçu par un organe ou un tissu donné pour tenir compte des différents risques de cancer fatal ou de lésion héréditaire provoqué par l'irradiation de l'organe ou du tissu, par rapport au risque total de tels effets stochastiques dus à l'irradiation du corps entier à un équivalent de dose égal; les valeurs attribuées au facteur de pondération aux fins de la radioprotection et la réglementation se trouvent au Tableau à la page suivante; (weighting factor)

"facteur de qualité": facteur de multiplication appliqué à la "dose absorbée" afin de tenir compte des différentes possibilités de lésions provoquées par unité de dose des différents types de rayonnement (le produit de la "dose absorbée" et du "facteur de qualité" étant "l'équivalent de dose"); les valeurs attribuées au facteur de qualité aux fins de la radioprotection et la réglementation se trouvent au Tableau à la page suivante; (quality factor)

"fécondation": conjonction du spermatozoide et de l'ovule donnant lieu au développement d'un nouvel être; (fertilization)

"foetus": produit de la conception qui commence à présenter les caractères distinctifs de l'espèce, de la septième ou huitième semaine après la fécondation jusqu'à la naissance; (foetus)

Facteurs de Pondération:

Organe ou tissu	Facteur de pondération (W_T)
Gonades (testicules et ovaires)	0,25
Seins	0,15
Moelle rouge des os	0,12
Poumon**	0,12
Surfaces osseuses	0,03
Glande thyroïde	0,03
Autres organes ou tissus (0,06 pour chacun des cinq autres organes ou tissus qui reçoivent les équivalents de dose les plus élevés)***	0,30
Extrémités, cristallins, peau et autres organes et tissus non compris ci-dessus	0,00
Ensemble de l'organisme (ou tronc)	1,00

* la valeur W_T est une moyenne établie pour les hommes et les femmes;

** dans le calcul de l'équivalent de dose effectif dû aux produits de filiation du radon et du thoron inhalés, il convient de diviser le W_T des poumons en deux valeurs W_T de la manière suivante: 0,06 pour la couche basale de la région trachéo-bronchique et 0,06 pour la région pulmonaire;(3)

*** à l'exception des extrémités, des critallins et de la peau; dans le cas d'irradiation de l'appareil gastrointestinal, l'estomac, l'intestin grêle, la partie supérieure et la partie inférieure du gros intestin doivent être considérés comme des organes distincts;

Facteurs de Qualité:

Type de rayonnements	Facteur de qualité*
Rayons gamma et rayons X	1
Particules bêta et électrons	1
Neutrons d'une énergie inférieure à 10 000 électrons-volts	2
Neutrons d'une énergie égale ou supérieure à 10 000 électrons-volts	10
Neutrons d'une énergie inconnue	10
Particules à charge unique d'une masse au repos égale ou supérieure à une unité de masse atomique	10
Particules à charge multiple	20

* Ces valeurs s'appliquent généralement à une gamme d'énergie; toutefois, des valeurs différentes peuvent être appropriées dans certaines circonstances précisées dans chaque cas par la CCEA;

"gonade": l'une des principales glandes sexuelles, qui comprend les ovaires chez la femme et les testicules chez l'homme; (gonad)

"gray"(Gy): unité de "dose absorbée" (1 Gy = 1 joule/kg);

"Gy": gray;

"homme de référence": personne hypothétique dont les habitudes alimentaires et les caractéristiques physiologiques sont, dans l'ensemble, représentatives des travailleurs sous rayonnements mâles; (reference man)

"homme-rem": ancienne unité de "dose collective" en train d'être remplacée par la "personne-sievert" (1 homme-rem = 0,01 personne-sievert); (man-rem)

"incorporation": introduction d'une substance dans le corps, par inhalation, ingestion ou encore par diffusion ou absorption à travers la peau; (intake)

"ingestion": action d'introduire dans l'estomac, de la même façon que pour l'ingestion les aliments ou des boissons; (ingestion)

"inspecteur": toute personne nommée à ce titre aux termes du Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique; (inspector)

"irradié": exposé à des rayonnements à partir d'une source interne ou externe de rayonnements; (irradiated)

"J": "joule";

"Ja^{-1}": joule par an, utilisé dans le présent document comme mesure de l'incorporation de l'"énergie potentielle alpha" des produits de filiation du radon et du thoron inhalés au cours d'une année;

"joule" (J): unité d'énergie du système international d'unités, utilisée dans le présent document comme mesure de "l'énergie potentielle alpha" des produits de filiation du radon et du thoron; (joule)

"LAI": "limite annuelle d'incorporation"; (ALI)

"lésion héréditaire" malformation héréditaire transmise génétiquement par un parent à l'enfant et qui peut se manifester chez les enfants et chez les descendants d'un parent dont les gonades (ovaires ou testicules) ont été exposées à des rayonnements avant la conception des enfants; (inheritable injury)

"limite annuelle d'incorporation" (LAI): quantité de substance radioactive introduite dans le corps au cours d'une année, qui résultera en une "dose engagée" égale à la limite de dose stochastique ou non stochastique, selon le cas; différentes valeurs de LAI s'appliquent à l'incorporation par inhalation et par ingestion, et différentes valeurs s'appliquent aux travailleurs sous rayonnements et aux membres du public, comme l'explique la section 4.4 du présent document; (annual limit on intake)

"limite de dose": limite de dose de rayonnement stipulée dans le Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique; (dose limit)

"limite dérivée": limite de concentration ou du taux d'émission d'une substance radioactive, ou du débit de dose, ou de quelque autre quantité pouvant être dérivée de la limite de dose de sorte qu'on soit raisonnablement assuré que si la limite dérivée est respectée, la limite de dose ne sera pas dépassée; (derived limit)

"limite d'incorporation": voir "limite annuelle d'incorporation"; (intake limit)

"limite non stochastique": limite d'équivalent de dose dont l'objet est de prévenir l'apparation des "effets non stochastiques"; (non-stochastic limit)

"limite opérationnelle" (ou "cible"): limite imposée à une quantité, par exemple la dose, le débit de dose, la concentration de substances radioactives dans l'air, dans l'eau ou sur des surfaces, ou le débit des effluents, établie par le titulaire de permis aux fins de contrôle routinier des doses; les limites opérationnelles sont généralement inférieures aux limites réglementaires, mais dans certains cas, elles peuvent être égales à ces dernières; (operational limit or target)

"limite professionnelle": limite de dose applicable à un "travailleur sous rayonnements"; (occupational limit)

"limite réglementaire": limite prescrite dans le Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique ou à partir de ce dernier; (regulatory limit)

"limite stochastique": limite imposée à "l'équivalent de dose effectif" ou à "l'équivalent de dose pondéré" dont l'objet est de limiter les possibilités d'apparition des "effets stochastiques"; (stochastic limit)

"Loi sur le contrôle de l'énergie atomique" (S.R.C. 1970, c.A-19): loi adoptée par le Parlement en 1946 afin d'assurer le contrôle et la surveillance de la mise au point, de l'application et de l'utilisation de l'énergie nucléaire, et de permettre au Canada de participer de manière efficace aux mesures internationales de contrôle en matière d'énergie nucléaire; (Atomic Energy Control Act)

"membres du public": individus qui ne sont pas des "travailleurs sous rayonnements" et (en plus du public en général) les personnes qui travaillent dans des établissements visés par un permis de la CCEA et qui ne sont pas considérées comme des travailleurs sous rayonnements; (members of the public)

"millisievert" (mSv): un millième de "sievert" (1 Sv = 1 000 mSv);

"mSv": millisievert;

"niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre": niveau d'une dose ou d'une incorporation individuelle ou collective, d'un rejet d'effluent ou de tout autre paramètre lié à une dose de rayonnement, tel que toute tentative visant à le réduire encore plus dépasserait, selon le contexte, les avantages qu'on pourrait en tirer pour la protection de la santé; les avantages pour la protection de la santé correspondent à une réduction du "détriment" due à une diminution de dose; la notion est expliquée à la section 2 du présent document et la section 7 donne des indications sur la façon de déterminer quel niveau est le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre; (as low as reasonably achievable)

"organe": toute partie de l'organisme, par exemple, les poumons, les gonades ou la glande thyroïde, remplissant une fonction particulière; (organ)

"organe critique": organe ou tissu du corps susceptible d'être le plus touché

par l'exposition à une source donnée de rayonnement, et qui est en général l'organe ou le tissu qui reçoit l'équivalent de dose le plus élevé; cette notion est désuète et est en train d'être remplacée par la notion d"équivalent de dose effectif" qui tient compte de la dose absorbée par tous les organes et tissus; (critical organ)

"organogénèse": la génèse et le développement des organes du corps; (organogenesis)

"période effective": période au cours de laquelle la quantité d'une substance radioactive présente dans le corps, dans un organe ou un tissu, décroît de la moitié de la quantité initiale, par l'action combinée de la désintégration radioactive et des processus biologiques; (effective half-life)

"personne-sievert": unité de mesure de la "dose collective"; (person-sievert)

"produit de filiation": atome produit par la désintégration radioactive d'un autre atome; (daughter)

"produits de filiation du radon" (produits de filiation du radon 222): substances radioactives de courte période énumérées ci-dessous et produites par une série de désintégrations radioactives commençant par la désintégration du radon 222: le polonium 218 (radium A), le plomb 214 (radium B), le bismuth 214 (radium C) et le polonium 214 (radium C'); (radon daughters)

"produits de filiation du radon ou du thoron": "produits de filiation du radon" ou "produits de filiation du thoron"; (radon or thoron daughters)

"produits de filiation du thoron" (produits de filiation du radon 220): substances radioactives de courte période énumérées ci-dessous produites par une série de désintégrations radioactives commençant par la désintégration du radon 220: le polonium 216 (thorium A), le plomb 212 (thorium B), le bismuth 212 (thorium C) et le polonium 212 (thorium C'); (thoron daughters)

"public": voir "membres du public"; (public)

"rad": ancienne unité de "dose absorbée" qui est en train d'être remplacée par le "gray" (1 rad = 0,1 gray = 10 mGy);

"radioactif": doué de radioactivité, ce qui désigne la propriété que possèdent certains éléments de se transformer de manière spontanée, par suite d'une modification du noyau de l'atome, en émettant des rayonnements ionisants; (radioactive)

"radiologique": relatif aux rayonnements; (radiological)

"radionucléide": atome radioactif caractérisé par le nombre de neutrons et de protons contenus dans son noyau; (radionuclide)

"radioprotection" (aussi protection radiologique): science et pratique de l'évaluation des risques dûs aux rayonnements, de même que l'élaboration, et la promotion de l'utilisation des instruments, des vêtements protecteurs, des directives et des procédures nécessaires pour maintenir les doses de rayonnement en deçà des limites de dose et à des niveaux aussi bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre; (radiation protection)

"radon" (radon 222): élement gazeux radioactif produit par la désintégration radioactive du radium 226 (qui est lui-même produit par une série de désintégrations radioactives de l'uranium 238) et qui, au moyen de la désintégration radioactive, donne les "produits de filiation du radon"; (radon)

"rayonnement": aux fins du présent document, signifie "rayonnement ionisant" émis ou produit par une "substance prescrite ou radioactive" ou un "établissement nucléaire"; (radiation)

"rayonnement ionisant": toute particule atomique ou sub-atomique ou toute onde électro-magnétique ayant suffisamment d'énergie par particule ou par photon pour produire des ions (atomes portant une charge due à la perte ou au gain d'électrons) dans la substance dans laquelle elle est absorbée; le rayonnement ionisant englobe les particules alpha et bêta et les rayons gamma, aussi bien que les neutrons et certaines autres particules; (ionizing radiation)

"rayonnement pénétrant": rayonnement ionisant qui peut pénétrer à travers le corps, ou à travers une grande partie du corps; (penetrating radiation)

"Règlement": Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique; (regulations)

"Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique" (C.R.C. 1978, c.365): règlement prescrit par la Commission de contrôle de l'énergie atomique conformément à la Loi sur le contrôle de l'énergie atomique; (Atomic Energy Control Regulations)

"rem": ancienne unité de "l'équivalent de dose" en train d'être remplacée par le "sievert" (1 rem = 0,01 sievert = 10 mSv);

"SI": Voir "système international d'unités";

"sievert" (Sv): nom particulier de l'unité de "l'équivalent de dose" et de "l'équivalent de dose effectif" (1 Sv = 100 rem); (voir "équivalent de dose" pour une définition quantitative plus précise);

"source externe de rayonnements": une source de rayonnements se trouvant à l'extérieur du corps; (external source of radiation)

"source interne": source de rayonnements (c'est-à-dire une substance radioactive) se trouvant à l'intérieur du corps; (internal source)

"substances prescrites": l'uranium, le thorium, le plutonium, le neptunium, le deutérium; ainsi que leurs dérivés et composés respectifs, et toutes autres substances que la Commission peut, par règlement, désigner comme propres à dégager de l'énergie atomique, ou comme requises pour la production, l'usage ou l'application de l'énergie atomique; (prescribed substances)

"Système international d'unités" (SI): système d'unités fondé sur le système métrique, accepté à l'échelle internationale et adopté par le gouvernement du Canada; (SI system)

"thoron" (radon 220): élément gazeux radioactif produit par la désintégration radioactive du radium 224 (qui est lui-même produit par une série de désintégrations radioactives du thorium 232) et qui, au moyen de la désintégration radioactive, donne les "produits de filiation du thoron"; (thoron)

"tissu": ensemble de cellules de composition semblable remplissant certaines fonctions particulières (par exemple, la moelle des os, la surface des os et le cristallin); (tissue)

"travailleur sous rayonnements": définition est donnée à la section 3 du présent document; (atomic radiation worker)

"unité alpha" (WL): unité de concentration de produits de filiation du radon et du thoron dans l'air exprimée en termes "d'énergie potentielle alpha" de la quantité de produits de filiation dans un mètre cube ou un litre d'air:
1 WL = 2,08 x 10^{-5} joule par mètre cube = 1,3 x 10^{5} Mev par litre;
(working level)

"unité alpha-heure" (WLh): unité d'exposition d'une personne aux produits de filiation du radon ou du thoron, le nombre de WLh d'exposition étant obtenu en multipliant la concentration des produits de filiation du radon ou du thoron dans l'air (exprimé en "unités alpha") par la durée d'exposition exprimée en heures; (working level hour)

"unité alpha-mois" (WLM): 170 "unités alpha-heure"; (working level month)

ANNEXE 4

Références bibliographiques et notes

1. "Règlement sur le contrôle de l'énergie atomique", DORS/74-334, chapitre 365 de la Codification des règlements du Canada de 1978, et modifications DORS/78-58 et DORS/79-422.
Le règlement modifié en 1978 adoptait les limites d'exposition aux produits de filiation du radon, exprimées en WLM.

2. "Recommandations de la Commission internationale de protection radiologique", Annales de la CIPR, Vol. 1, n°3 (publication 26 de la CIPR), Pergamon Press, 1977.
La nouvelle notion consistant à limiter le total des équivalents de dose pondérés pour les organes et les tissus individuels a été adoptée et a reçu plus tard le nom d'"équivalent de dose effectif" (voir 2a). La limite annuelle de dose recommandée pour le cristallin était de 300 mSv, mais a été par la suite fixée à 150 mSv (voir 2b).

2a. "Statement from the 1978 Stockholm Meeting of the International Commission on Radiation Protection", Annals of the ICRP, Vol. 1, No. 1, Publication No. 28, Pergamon Press, 1978.

2b. "Statement and Recommendations of the 1980 Brighton Meeting of the ICRP", in Annals of the ICRP, Vol. 4, Nos. 3/4, Publication No. 30, Part 2, "Limits for Intakes of Radionuclides by Workers", Pergamon Press, 1980.

3. "Limits for Inhalation of Radon Daughters by Workers", Annals of the ICRP, Vol. 6, No. 1, Publication No.32, Pergamon Press, 1981.

4. "Implications of Commission Recommendations that Doses Be Kept as Low as Readily Achievable", ICRP Publication No. 22, Pergamon Press, 1973.

Même si l'expression "readily achievable" est utilisée dans le titre (étant donné que c'était l'expression en usage avant 1973), il est indiqué au renvoi du paragraphe (20) que l'adverbe "reasonably" exprime mieux l'intention de la recommandation.

5. "Limits for Intakes of Radon Daughters by Workers", Annals of the ICRP, Vols. 2-8, Publication No. 30, Parts 1-3 and supplements, Pergamon Press, 1978-1983.

6. "Sources et effets des rayonnements ionisants", Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants, Rapport à l'Assemblée générale et annexes, 1977, Nations Unies, New York, 1977.

7. "Ionizing Radiation: Sources and Biological Effects", United Nations Scientific Committee on the Effects of Ionizing Radiation, 1982 Report to the General Assembly with annexes, United Nations, New York, 1982.

8. "The Effects on Populations of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation", U.S.A., National Academy of Sciences, Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation (BEIR), 1980.

9. "Évaluation des risques résultant de l'exposition aux émetteurs alpha", CCEA, Comité consultatif sur la radioprotection, INFO-0090, CCRP-1, 1982.

10. "Radiation Effects on Pre-Natal Development and Their Radiological Significance", R.H. Mole, in British Journal of Radiology, Vol. 52, No. 614, February 1979, pp. 89-101.

11. "Medical Radiation Exposure of Pregnant or Potentially-Pregnant Women", National Council on Radiation Protection and Measurements, NCRP NO. 54, 1977.

12. "The amount of Hereditary Disease in Human Populations", B.K. Trimble and J.H. Doughthy, London, A/H/ Genet, 1974, 38, 199.

13. "Problems involved in Developing an Index of Harm", Annals of the ICRP, Vol. 1, No. 4, Publication No. 27, Pergamon Press, 1977.